



НТО ЮНИОРЫ 2026/27 · СФЕРА

Космотех

Задачник-справочник для подготовки к
отборочному этапу

5-7 класс

Автор-составитель

Артём Осинowski, методист и разработчик детского технопарка «Кванториум»

Детский технопарк «Кванториум», Новосибирск · 2026

Космотех

Задачник-справочник для подготовки к отборочному этапу НТО Юниоры. 5–7 класс

Автор-составитель – **Артём Осиновский**, методист и разработчик детского технопарка «Кванториум».

Нашли ошибку или неточность? Напишите на osinovsky.aa@kvantorium54.ru (рабочая почта): сфера, версия книги (1.0) и номер страницы – исправим в следующей версии. Актуальная версия и список изменений – nto.kvantorium54.ru/knigi. Личная почта для других вопросов – artem081033@gmail.com.

Важно. Это не официальное пособие олимпиады, а книга методиста «Кванториума». Каких заданий ждать на отборе 2026/27, мы не знаем: организаторы их заранее не показывают, а задания разных лет не повторяются. Книга готовит к темам из программы сферы и приёмам решения, а не к конкретным задачам.

Книга помогает школьнику самостоятельно подготовиться к отборочному этапу сферы «Космотех» Национальной технологической олимпиады «НТО Юниоры»: теория с нуля, подробные разборы задач и задачи для самопроверки с ответами.

Большинство задач составлены автором по образовательной программе сферы, часть – по мотивам открытых заданий прошлых лет; источник указан у каждой задачи. Уровни сложности – шкала этой книги, а не баллы олимпиады. Правила, сроки и формат отбора – на сайте junior.ntcontest.ru.

Версия 1.0 от 02.10.2026, сборка 02.10.2026. © Артём Осиновский, 2026.

Содержание

Как устроена эта книга	4
Для кого эта книга	4
Как устроен отбор	4
Что пригодится на отборе и где это в книге	5
Как пользоваться книгой	5
Как вводить ответы на отборе	6
Что понадобится	6
План на месяц до отбора	15
Родителям и наставникам	15
Честно об этой книге	15
Глава 1 Космос и космонавтика: что нужно знать	17
1.1. Солнечная система: планеты по порядку	18
1.2. Спутники планет: семь «личностей»	20
1.3. Кометы, астероиды и метеориты	22
1.4. История космонавтики: главные вехи	24
1.5. Какие бывают космические аппараты	28
1.6. Как решать задачи на эрудицию	30
1.7. Разбираем задачи	31
Глава 2 Сила, движение и невесомость	42
2.1. Масса, сила тяжести и вес	43
2.2. Скорость и ускорение	45
2.3. Инерция, законы Ньютона и реактивное движение	46
2.4. Невесомость – это свободное падение	48
2.5. Перегрузка	53
2.6. Разбираем задачи	54
Глава 3 Инженерная математика: единицы, объёмы, проценты	62
3.1. Единицы измерения и перевод	63
3.2. Плотность: как связаны масса и объём	65
3.3. Объёмы тел	66
3.4. Проценты и пропорции	68
3.5. Округление: когда, куда и насколько	70
3.6. Скорость процесса	71
3.7. Разбираем задачи	72
Глава 4 Орбиты: как летают спутники	82
4.1. Что такое орбита и почему спутник не падает	83
4.2. Период и число витков	85
4.3. Какие бывают высоты орбит и зачем	87
4.4. Широта, долгота и наклонение	89
4.5. Пролетая над двумя городами: центральный угол	93
4.6. Тень Земли	95
4.7. Разбираем задачи	97

Глава 5 3D-моделирование: объёмы и массы в Компас-3D	106
5.1. САПР и «Компас-3D»	107
5.2. Эскиз: рисуем плоско, но точно	117
5.3. Из эскиза – тело: выдавливание, вращение, вырезание, массив	119
5.4. Сборка и сопряжения	122
5.5. МЦХ: объём, масса, центр масс	123
5.6. Разбираем задачи	125
Глава 6 Электроника: ток, напряжение, сопротивление	137
6.1. Цепь: ток, напряжение, сопротивление	138
6.2. Закон Ома	140
6.3. Последовательное и параллельное соединение	141
6.4. Короткое замыкание	142
6.5. Светодиод и резистор к нему	143
6.6. Делитель напряжения и потенциометр	145
6.7. analogRead: из напряжения в число	146
6.8. Несколько кнопок на одном входе	147
6.9. Конденсатор и RC-цепь	149
6.10. Мощность и батарейки: хватит ли заряда	151
6.11. Мультиметр, макетная плата и Wokwi	153
6.12. Разбираем задачи	155
Глава 7 Программирование: Arduino и Python	164
7.1. Программа, переменные и типы	165
7.2. Условия, циклы, функции, строки	167
7.3. Arduino: скетч, ножки, время	169
7.4. Двоичная система: как спутник передаёт числа	171
7.5. Python: ввод, вывод, списки и картинка из чисел	173
7.6. Машина состояний: светофор	176
7.7. Четыре вида задач с кодом	178
7.8. Разбираем задачи	179
Глава 8 Пикоспутник: энергия, связь и циклограмма полёта	192
8.1. Из чего состоит спутник	193
8.2. Солнечная панель: сколько ватт даёт свет	195
8.3. Слежение за Солнцем	197
8.4. Аккумулятор: ватт-часы и батарея из элементов	199
8.5. Ионистор: конденсатор-«батарейка»	201
8.6. Энергобаланс витка	202
8.7. Радиосвязь и ИК-связь	204
8.8. Циклограмма полёта	205
8.9. Телеметрия: как найти, что пошло не так	207
8.10. Разбираем задачи	209
Ответы и решения	221
Справочник	230
Числа, которые используются в книге	230

Перевод единиц	230
Формулы фигур	231
Шпаргалка: всё «Запомни» из глав	232
Где что найти	238

Как устроена эта книга

Эта книга – тренажёр для отборочного этапа сферы «Космотех» олимпиады «НТО Юниоры». Здесь есть всё, чтобы готовиться самостоятельно: теория с нуля, подробные разборы задач и сразу после каждого – похожие задачи «Реши сам» с ответами в конце книги. Кружок и дорогое оборудование не нужны: почти всё решается на бумаге, с калькулятором и в бесплатных программах. Если совсем мало времени – есть отдельная короткая книжка «Быстрый старт»: главное из каждой главы.

Для кого эта книга

- Для школьников **5–7 классов**, которые выбрали (или думают выбрать) сферу «Космотех».
- Для тех, кто **ещё не проходил** физику или программирование в школе. Каждая тема начинается с самого начала.
- Для **наставников и родителей**, которые хотят помочь. Для них есть отдельный раздел в конце введения.

Как устроен отбор

Таблица В.1

Когда	Что происходит
до 9 ноября	регистрация на олимпиаду (наш совет – успеть до 20 октября, тогда будут обе попытки)
20–30 октября	отбор, попытка 1 (3 часа)
31 октября – 10 ноября	отбор, попытка 2 (засчитывают лучшую из двух)
7–17 декабря	финалы в регионах

- Отбор проходит **дома, онлайн, с компьютера**. Задания открываются в личном кабинете на my.ntcontest.ru и решаются на платформе «Орбита» (orbita.education). Каждый решает сам за себя.
- Задания – это задачи с ответом: ввести число, выбрать верные варианты, сопоставить, расставить строки программы по порядку, написать короткую программу.
- Руководитель сферы на вебинаре в сентябре 2026 года сказал, что на отборе не бывает задач, которых нет в образовательном курсе сферы. Поэтому книга построена по программе сферы: космонавтика, физика и математика, 3D-моделирование, электроника, программирование и работа с пикоспутником.
- За тест бесплатного курса своей сферы дают **+5 баллов** к отбору. Курс – на academy.junior.online, вход через «Талант». Бонус нужно включить самому в личном кабинете до конца отбора.

- Финал – **командный**: конструктор, программист и схемотехник вместе решают одну большую инженерную задачу.

Совет. Сроки и правила могут уточняться. Главный источник – сайт олимпиады junior.ntcontest.ru и памятка для Новосибирской области nto.kvantorium54.ru.

Что пригодится на отборе и где это в книге

На странице сферы перечислено, что пригодится на отборе. Вот где это в книге:

Таблица В.2

Что пригодится на отборе	Глава
Знания о космосе и космонавтике	1. Космос и космонавтика
Физика: движение, сила, невесомость	2. Сила, движение и невесомость
Математика: формулы, фигуры, проценты, единицы	3. Инженерная математика
Как летают спутники	4. Орбиты
Моделирование в «Компас-3D»	5. 3D-моделирование
Электроника: ток, напряжение, сопротивление, батареи	6. Электроника
Arduino IDE, Python или C/C++	7. Программирование
Спутник целиком: энергия, связь, циклограмма	8. Пикоспутник

Главы 1–4 можно читать в любом порядке. Для главы 5 нужен компьютер с «Компас-3D». Главу 6 лучше прочитать раньше главы 7, а главу 8 – после глав 3, 4 и 6: в ней собрано всё вместе.

Как пользоваться книгой

В каждой главе – теория и разборы задач:

1. **Теория.** Коротко и по делу, с рисунками. Самое важное собрано в рамках «Запомни». Все «Запомни» из всех глав повторяются в конце книги, в шпаргалке.
2. **Разбираем задачи.** Задачи такие же, как на отборе, и к каждой – решение по шагам: что дано, что делаем и почему, где обычно ошибаются, какой ответ получился и похож ли он на правду. Сразу после разбора – две похожие задачи **«Реши сам»**: сначала посмотри, как решают, потом реши сам похожую.
3. **Ответы.** Ответы к «Реши сам» – в конце книги, в разделе «Ответы и решения». Там не только число, но иногда и короткая подсказка, если задача с подвохом.

Хочешь пробежаться по всей программе быстро – есть отдельная короткая книжка **«Быстрый старт»** (около 50 страниц): из каждой главы главное, один разбор и несколько задач «Реши сам». Её удобно пройти за неделю, а эту книгу держать под рукой как справочник.

У задач есть два уровня. Обычная задача – без пометки. У трудных задач рядом с номером стоит звёздочка (*) – в них нужно несколько идей сразу, труднее, чем на отборе. Лёгкие задачи, с одного действия, помечены словом «разминка».

Совет. Разбор читай с листком бумаги. Закрой решение, попробуй решить сам, а потом сверяйся по шагам. Так ты запомнишь в три раза больше, чем если просто прочитаешь.

У каждой задачи внизу написано, откуда она взялась: «по мотивам задачи отборочного этапа» – значит, похожая задача была на отборе прошлых лет (мы пересказали её своими словами и поменяли числа), «своя задача по программе сферы» – значит, мы придумали её по теме из программы 2026/27 года.

Как вводить ответы на отборе

Так было на отборочных этапах прошлых лет. На «Орбите» перед каждой задачей читай инструкцию: там сказано, в каком виде нужен ответ.

- **Только число**, без единиц измерения. Смотри, в каких единицах просят ответ: в литрах, граммах, миллисекундах.
- **Дробную часть** на сайте обычно отделяют **точкой**: 2.03, а не 2,03. В книге мы пишем по-русски, через запятую.
- **Округляй так, как сказано в условии.** «С точностью до 0,5 литра» значит, что ответ можно дать и точнее, но не грубее. Промежуточные результаты не округляй – только ответ.
- **Запасы округляй вверх.** Если воды, батарей или топлива должно хватить, 9,2 суток превращаются в 10.
- **У каждого могут быть свои числа.** В некоторых задачах условие генерируется для каждого участника отдельно, так что списать ответ не выйдет.
- **Попытки ограничены.** Сначала реши на бумаге или проверь программу в песочнице (Wokwi, онлайн-Python), и только потом вводи ответ.

Что понадобится

- Тетрадь в клетку, карандаш, линейка.
- Калькулятор, который умеет корни и степени. Подойдёт телефон в режиме «инженерный калькулятор».
- Компьютер с интернетом – для глав 5 и 7 и для задач, где нужно что-то найти:
 - **«Компас-3D»** – российская программа для 3D-моделирования, у неё есть бесплатная версия для учёбы (kompas.ru);
 - **Wokwi** (wokwi.com) – симулятор Arduino и электронных схем прямо в браузере, ничего ставить не нужно;
 - **Arduino IDE** – по желанию, если есть настоящая плата. Для подготовки к отбору хватит симулятора; программу для настоящей платы поможет поставить педагог кружка.

- **Python** – любой онлайн-интерпретатор или программа Python с сайта python.org (в ней есть простой редактор IDLE).

Wokwi: симулятор Arduino в браузере

Wokwi (wokwi.com) – бесплатный симулятор Arduino прямо в браузере. Ставить ничего не нужно, регистрироваться тоже: плату, светодиоды, кнопки и датчики «собирают» на экране проводами, а программу пишут тут же и запускают кнопкой. Ничего не сгорит, даже если ошибёшься. Если на твоём компьютере сайт не открывается, все схемы этой книги собираются и в Tinkercad. Интерфейс английский: названия кнопок ниже даны в кавычках по-английски, с переводом. Рамка с номером на картинке – куда нажимать. Зачем в схеме резистор – в главе об электричестве и электронике, что делают `setup()`, `loop()` и `Serial` – в главе про программирование Arduino. А здесь – как работать в самой программе и три задачи, чтобы руки привыкли.

Шаг 1. Открыть. Самый короткий путь – ссылка wokwi.com/projects/new/arduino-uno: сразу откроется чистый проект с платой Arduino Uno. То же самое кнопками: на главной странице wokwi.com выбери «Arduino (Uno, Mega, Nano)» (1 на левой половине рисунка), а на открывшейся странице в блоке «Start from Scratch» («Начать с нуля») – «Arduino Uno» (1 на правой половине).



Рисунок В.1 – Как открыть чистый проект: слева – главная страница, справа – выбор платы

Входить в аккаунт не нужно: кнопки «Sign in» и «Sign up» (вход и регистрация) вверху справа не нажимай. Зато у работы без входа есть два неудобства. Первое: проект нигде не хранится. Обновишь страницу или закроешь вкладку – всё пропадёт, так что перед закрытием скачай проект (шаг 7). Второе: перед запуском Wokwi собирает программу на своём сервере. Обычно это доли секунды, иногда до минуты. Подожди, это нормально.

Шаг 2. Окно Wokwi. Слева – программа, справа – плата и схема.

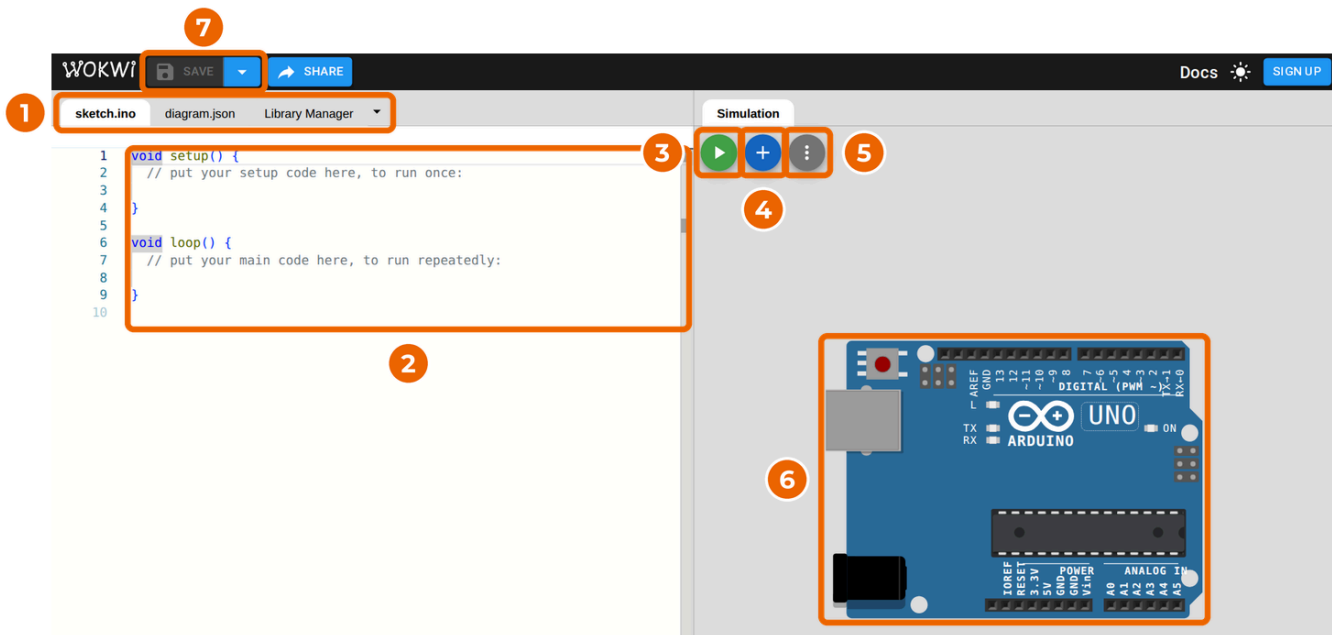


Рисунок В.2 – Окно Wokwi

1. **Вкладки.** «sketch.ino» – твоя программа. «diagram.json» – та же схема, записанная текстом: Wokwi пишет её сам, и в эту вкладку можно вставить готовую схему. «Library Manager» – подключаемые библиотеки, нам не понадобится.
2. **Окно программы.** Сразу лежат две обязательные функции, `setup()` и `loop()`.
3. **«Start the simulation»** («запустить симуляцию») – зелёная кнопка.
4. **«Add a new part»** («добавить деталь») – синяя кнопка «+».
5. **Меню «Zoom, grid, and more»** (три точки). «Undo» – отменить (Ctrl + Z), «Zoom in» и «Zoom out» – приблизить и отдалить, «Fit» – вернуть схеме размер по окну, «Toggle Grid» – показать сетку. Меню само не закрывается: закрой его клавишей Esc.
6. **Плата Arduino Uno.** Ножки подписаны: цифровые 0–13 – сверху, а питание (5V, GND – «земля») и аналоговые A0–A5 – снизу.
7. **«Save»** («сохранить») работает только со входом, поэтому нам нужна стрелка рядом с ним: в её меню лежит «Download project ZIP» (шаг 7).

Шаг 3. Добавить деталь. Нажми «+» (4 на карте окна). Откроется список деталей. В разделе «Basic» («основные») лежат LED – светодиод, Pushbutton и Pushbutton 6mm – кнопки (по-больше и поменьше), Resistor – резистор (2). Нужной детали на виду нет? Впиши её английское название в строку поиска (1), например `potentiometer`. Щёлкни по детали – она появится в левом верхнем углу поля. Нажми на неё и перетащи мышью на свободное место рядом с платой.

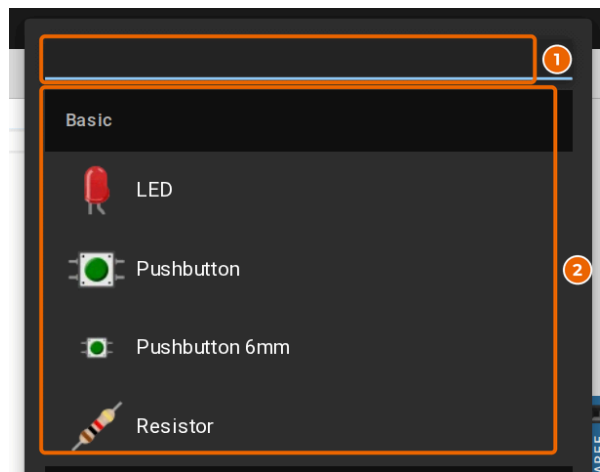


Рисунок В.3 – Список деталей: строка поиска (1) и раздел «Basic» (2)

Шаг 4. Настроить и повернуть. Щёлкни по детали – над полем появится её панель. У резистора в ней поле «Resistance» («сопротивление», 1), кнопка «Rotate» («повернуть», 2) и корзина «Delete» («удалить», 3). Впиши в поле 220 и нажми Enter: полоски на резисторе перецветятся. В поле число – это омы, а буква к – «кило»: 1k – это 1000 Ом.

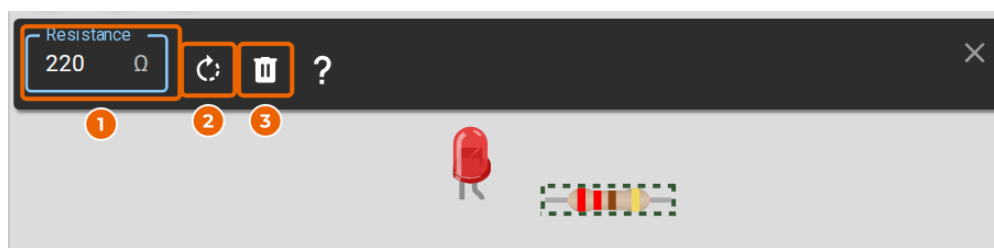


Рисунок В.4 – Панель резистора: «Resistance» (1), «Rotate» (2), «Delete» (3)

Деталь поворачивают кнопкой «Rotate» или клавишей R: одно нажатие – четверть оборота. Удалить деталь можно корзиной или клавишей Delete.

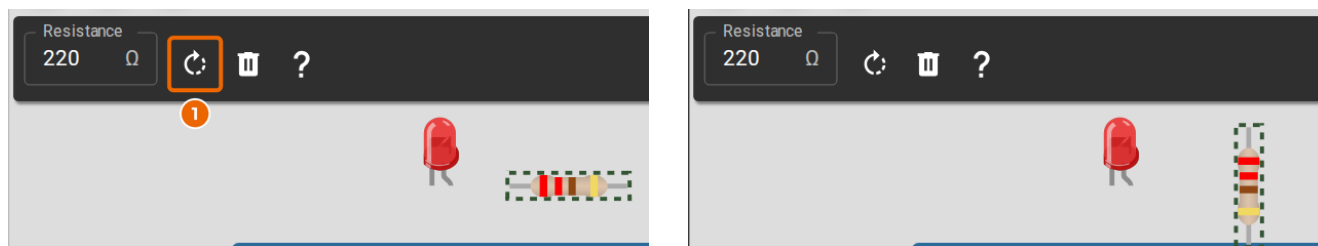


Рисунок В.5 – Поворот: слева резистор лежит, справа – после нажатия «Rotate» (1) он встал вертикально

Шаг 5. Провода. Щёлкни по ножке одной детали – от неё потянется провод. Щёлкни по ножке другой детали – провод закрепится. Передумал, пока тянешь, – нажми Esc, и провода не будет. Наведи мышь на ножку, и Wokwi её подпишет: led1:C – это деталь led1 и её ножка C, катод (у светодиода есть ещё led1:A – анод). Пока тянешь провод, цвет можно сменить цифрой: 2 – красный, 0 – чёрный, 5 – зелёный (как цвета полосок на резисторах). Лишний провод убирают так: щёлкни по нему и нажми Delete.

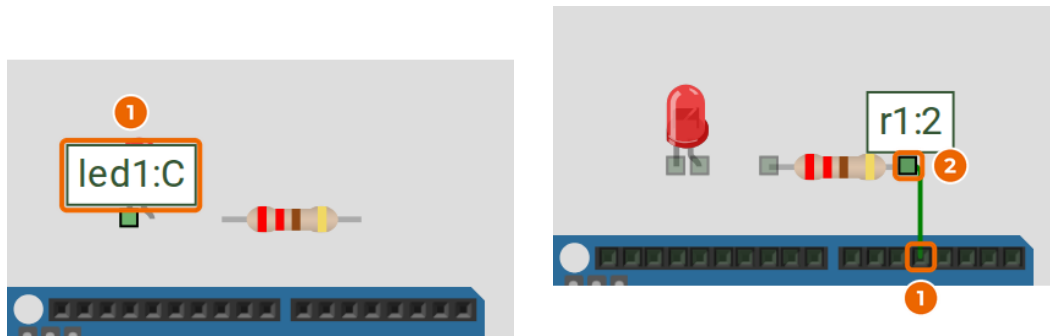


Рисунок В.6 – Слева – подпись ножки при наведении (1), справа – провод тянется от ножки 4 (1) к ножке r1:2 резистора (2)

Шаг 6. Запуск и монитор порта. Нажми «Start the simulation». Пока Wokwi собирает программу, подожди, потом схема оживёт: светодиоды горят, кнопки нажимаются мышью. На месте зелёной кнопки появятся три: «Restart the simulation» (начать заново), «Stop the simulation» (остановить, 1) и «Pause» (пауза). Кнопки «+» и меню с тремя точками при этом спрятаны: чтобы поправить схему, сначала нажми «Stop». Вверху справа бежит время симуляции (2). Если в программе есть `Serial.println(...)`, внизу откроется **монитор порта** (3). Это окно, куда плата «печатает» числа и слова. В нижнем ряду у него кнопка графика («Serial plotter»), корзина (очистить окно) и стрелка (свернуть монитор).

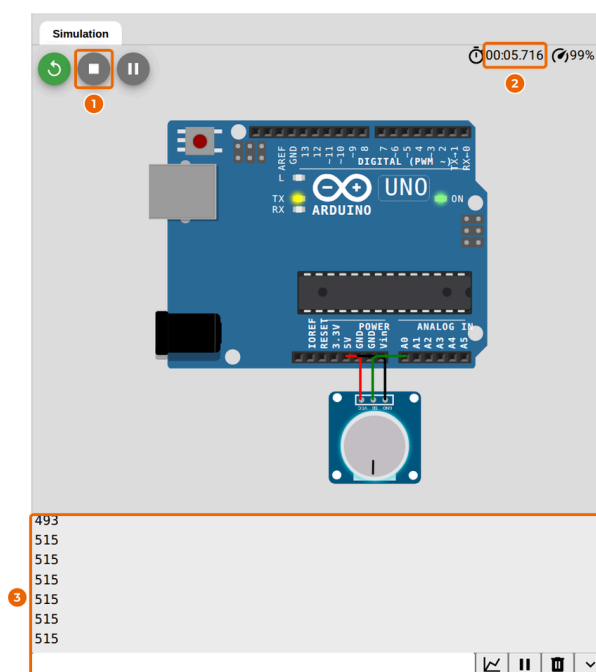


Рисунок В.7 – Идёт симуляция: «Stop the simulation» (1), время (2), монитор порта (3)

Шаг 7. Сохранить. Без входа работу сохраняют архивом: нажми стрелку рядом с «Save» (1) и выбери «Download project ZIP» (2). Скачается `project.zip`: в нём `sketch.ino` – программа, `diagram.json` – схема и ещё `wokwi-project.txt` – ссылка на сайт. Чтобы вернуться к работе, открой новый проект, во вкладку `sketch.ino` вставь текст из `sketch.ino`, а во вкладку `diagram.json` – текст из `diagram.json`.

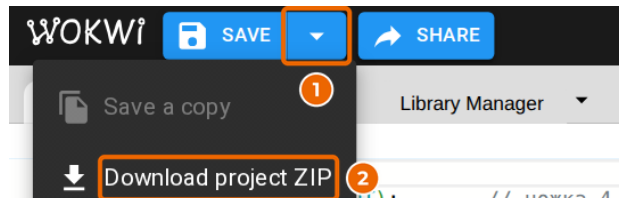


Рисунок В.8 – Меню рядом с «Save»

Задача П.1. Мигалка. Собери схему: ножка 4 → резистор 220 Ом → анод светодиода, катод светодиода → GND. На рисунке провод от ножки 4 (1) идёт к одному концу резистора (2), от другого его конца – к аноду светодиода (3), а от катода (левая ножка) – на GND (4) рядом с ножкой 13. Резистор ограничивает ток: в настоящей схеме без него светодиод бы сгорел.

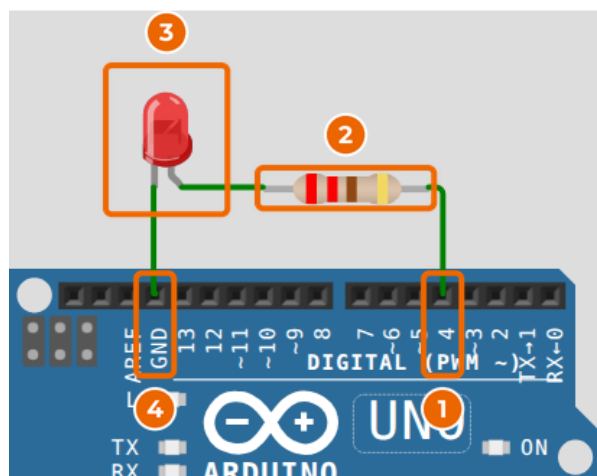


Рисунок В.9 – Схема мигалки

Вставь в окно программы текст и нажми «Start the simulation».

```
void setup() {
  pinMode(4, OUTPUT);      // ножка 4 - выход
}

void loop() {
  digitalWrite(4, HIGH);   // светодиод включить
  delay(1000);             // ждать 1000 мс = 1 с
  digitalWrite(4, LOW);    // выключить
  delay(1000);             // ждать ещё 1 с
}
```

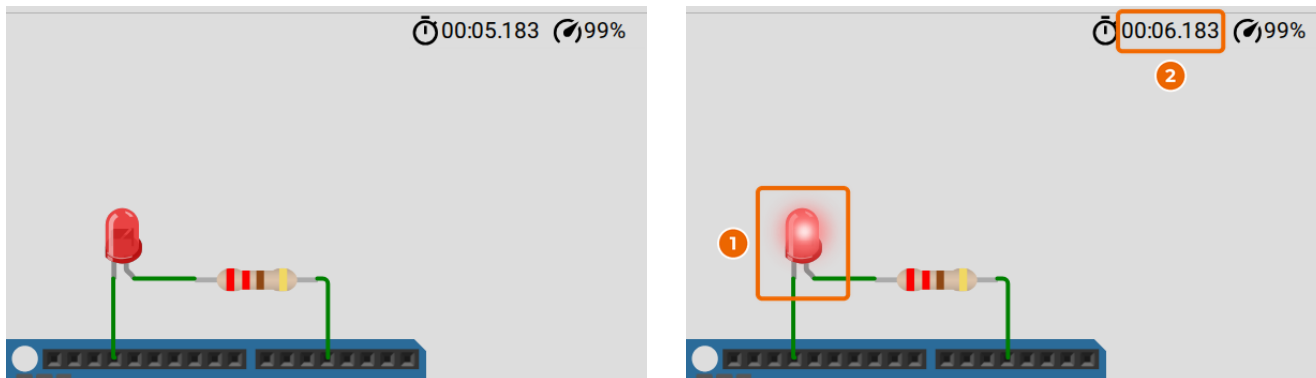


Рисунок В.10 – Слева светодиод не горит, справа горит (1); время симуляции – (2)

Что должно получиться: секунду светодиод горит, секунду нет. Теперь нажми «Stop», поменяй оба `delay(1000)` на `delay(250)` и запусти снова. Сколько раз вспыхнет светодиод за 10 секунд по времени симуляции? Ответ: 20. Одна вспышка – это 250 мс горит и 250 мс не горит, то есть 0,5 с, а $10 : 0,5 = 20$. Мы прогнали это в Wokwi: за 10 секунд ровно 20 вспышек. Светодиод не горит совсем? Проверь полярность: анод (правая ножка) должен смотреть в сторону резистора, а катод – на GND. Включённый наоборот светодиод не загорится, но и не сгорит.

Задача П.2. Кнопка. Открой новый проект (шаг 1): схема из П.1 больше не нужна. Лампочку возьмём ту, что уже стоит на плате: это светодиод L, он подключён к ножке 13. Добавь Pushbutton. У кнопки четыре вывода – два сверху и два снизу. Внутри кнопки два верхних вывода соединены всегда, два нижних тоже, а нажатие соединяет верхнюю пару с нижней. Поэтому провода берут так: один вывод верхней пары – к ножке 2, один вывод нижней пары – к GND. На рисунке это верхний правый вывод (1) и ножка 2 (3), нижний левый вывод (2) и GND (4).

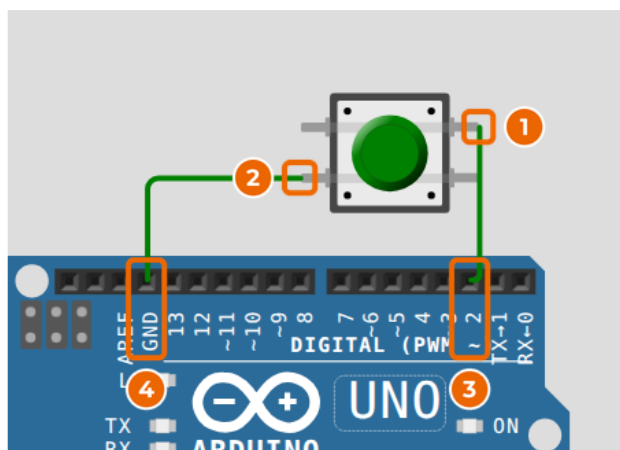


Рисунок В.11 – Схема с кнопкой

Программа. Здесь кнопка – вход с подтяжкой (`INPUT_PULLUP`): пока кнопка отпущена, на ножке 1.

```

void setup() {
  pinMode(2, INPUT_PULLUP); // кнопка: вход, подтянутый к 5 В
  pinMode(13, OUTPUT);      // светодиод L на плате
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int knopka = digitalRead(2);
  Serial.println(knopka);
  if (knopka == LOW) {      // нажата = LOW
    digitalWrite(13, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(13, LOW);
  }
  delay(200);
}

```

Запусти, потом нажми на кнопку мышью и подержи, а затем отпусти.

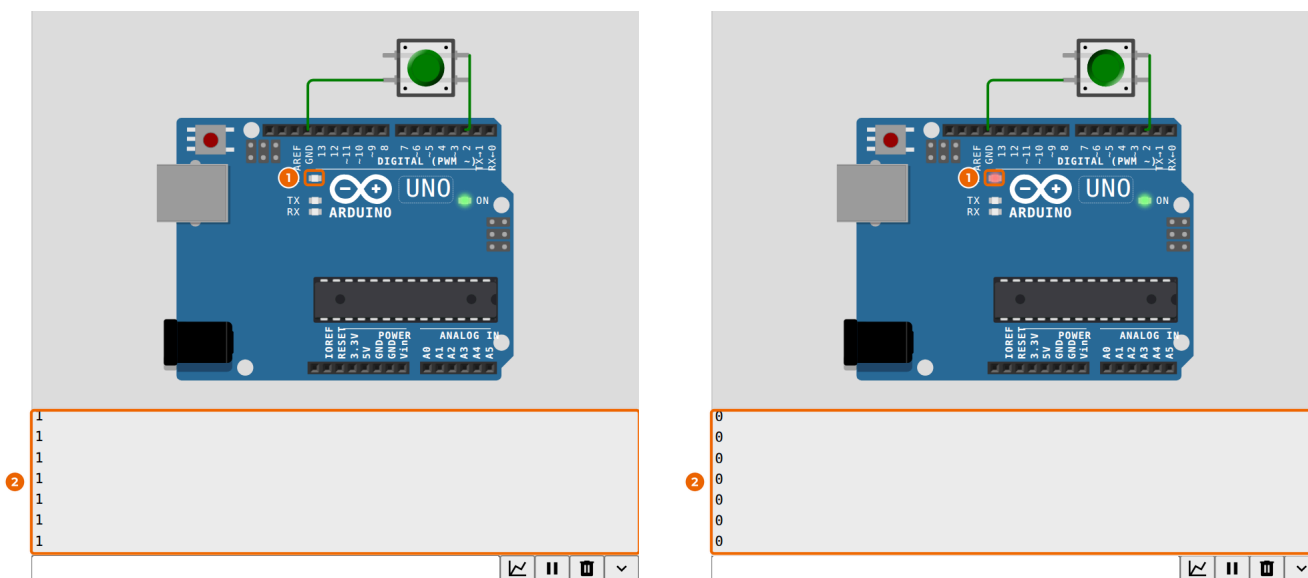


Рисунок В.12 – Слева кнопка отпущена, справа нажата: лампочка L (1) и монитор порта (2)

Что должно получиться: пока кнопка отпущена, в мониторе порта единицы, а L не горит. Нажал и держишь – пошли нули, и L загорается. Отпустил – снова единицы. Ответ: нажатой кнопке соответствует 0 (LOW), отпущенной – 1. Сплошные нули без нажатия? Значит, оба провода сели на выводы одной пары, например на два верхних: такая кнопка «нажата» всегда. Перенеси один провод на вывод другой пары.

Задача П.3. Потенциометр. Открой новый проект. Перетащи плату повыше: под ней нужно место. Добавь «Potentiometer» (строка поиска, potentiometer), поставь его под платой, щёлкни по нему и дважды нажми R: выводы окажутся сверху, ближе к плате. Они подписаны мелко: VCC, SIG, GND. Провода: красный – от VCC на 5V, чёрный – от GND на GND рядом с 5V, зелёный – от SIG на A0. На рисунке это выводы потенциометра (1), питание платы (2) и аналоговая ножка A0 (3).

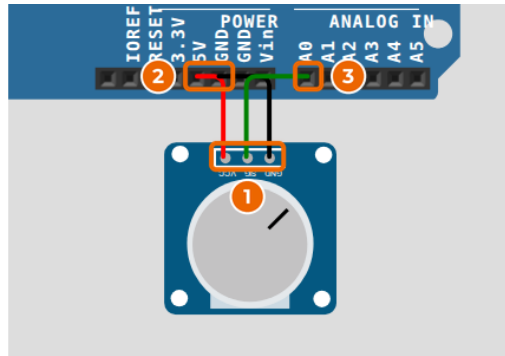


Рисунок В.13 – Схема с потенциометром

Программа печатает в монитор порта число с ножки A0.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  int n = analogRead(A0);    // число от 0 до 1023
  Serial.println(n);
  delay(300);
}
```

Запусти, нажми мышью на круглую ручку и води по кругу: ручка идёт за курсором, а числа в мониторе меняются сразу. Между двумя упорами у ручки есть пустой промежуток. Если провести через него, число перескочит с 1023 на 0 или обратно.

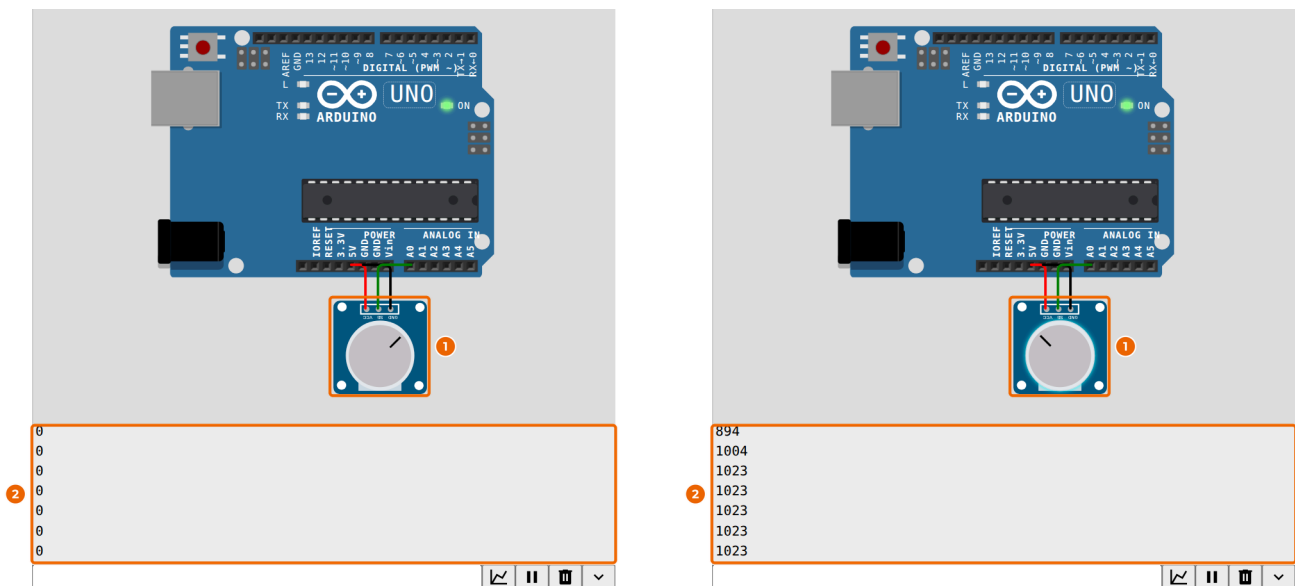


Рисунок В.14 – Слева ручка в одном крайнем положении, справа – в другом: ручка (1) и монитор порта (2)

Что должно получиться: в одном крайнем положении ручки в мониторе 0, в другом – 1023, а посередине – около 500. Сразу после добавления ручка стоит на нуле, поэтому первые числа в мониторе – нули. Ответ: 0 и 1023. Это границы `analogRead`: 0 соответствует 0 В, а 1023 – 5 В. Вопрос на подумать: какое напряжение на A0, когда в мониторе 512? Ответ: около 2,5 В, потому что $512 \cdot 5 / 1023 \approx 2,5$.

План на месяц до отбора

Если начинаешь в конце сентября, вот спокойный план: примерно по часу в день.

Таблица В.3

Неделя	Что читаем	Что делаем
1	главы 1–3	каждый день решать «Реши сам» по свежим разборам
2	главы 4–5	поставить «Компас-3D», повторить модели из разборов
3	главы 6–7	собрать схемы и программы из разборов в Wokwi, RC-цепь – в Tinkercad
4	глава 8 и шпаргалка	заново решить задачи, где были ошибки; пройти тест курса сферы (+5 баллов)

Отбор длится до 10 ноября, и попыток две. Если первая попытка прошла неудачно, вернись к главам, где потерял баллы, и иди на вторую.

Родителям и наставникам

- **Помогайте разбираться, но не решайте за ребёнка.** Разработчики сферы прямо просят об этом: на командном финале сразу видно, кто решал сам, а за кого решили. Лучше пусть ребёнок ошибётся на отборе и научится, чем попадёт в финал и растеряется там.
- **Садитесь рядом на первых задачах.** Детей чаще всего останавливает не сложность, а «что-то зависло» или «непонятно, куда нажать».
- **Всё про регистрацию, бонусы и финал** для Новосибирской области – на nto.kvantorium54.ru (вкладки «Я наставник» и «Я участник или родитель»).
- **Региональный координатор НТО Юниоры в Новосибирской области** – детский технопарк «Кванториум», info@kvantorium54.ru.

Честно об этой книге

Главное, что нужно знать про эту книгу: заданий отбора 2026/27 мы не видели – организаторы их заранее не показывают. Угадывать их бесполезно: наставники, которые следят за олимпиадой не первый год, говорят, что задания из года в год не повторяются. Поэтому книга учит темам из программы сферы и приёмам решения, а не готовит к конкретным задачам. Когда организаторы выложат пробные задания, мы сверим с ними книгу и выпустим новую версию.

Это не официальное издание НТО. Книгу составил методист «Кванториума» по открытым материалам олимпиады: программе сферы «Космотех» 2026/27, записям вебинаров сферы и сборникам задач отборочных этапов прошлых лет (сфера тогда называлась «Технологии для космоса»). Задачи прошлых лет пересказаны своими словами, с новыми числами и новыми ответами.

Каждое число в ответах мы пересчитали на компьютере, а каждую программу запустили. Если ты всё-таки нашёл ошибку или что-то осталось непонятным, напиши автору: osinovsky.aa@kvantorium54.ru. Следующие версии книги станут лучше благодаря тебе.

Космос и космонавтика: что нужно знать



На отборах прошлых лет первая группа задач была на эрудицию: планеты и спутники, кометы, история космонавтики, типы космических аппаратов. Считать там почти не приходится. Нужно выбрать все верные утверждения, сопоставить пары, расставить тела по размеру или события по дате, заполнить таблицу галочками. Часть ответов ты вспомнишь сразу, остальное придётся быстро проверить поиском – эта глава учит и тому, и другому.

1.1. Солнечная система: планеты по порядку

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 1.1 – Солнечная система в масштабе футбольного мяча

Если уменьшить Солнце до футбольного мяча, Земля станет крупинкой пшена на другом конце спортзала. Космос почти весь – пустота.

Солнечная система – это Солнце и всё, что вокруг него кружит: восемь планет, их спутники, карликовые планеты, астероиды и кометы. Солнце – звезда, и весит оно в сотни раз больше, чем всё остальное вместе: на него приходится больше 99 % массы системы.

Планеты по порядку от Солнца: **Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун**. Восемь названий подряд легко перепутать, поэтому их запоминают по первым буквам фразы: «**Мы Все Знаем: Моя Юная Сестра Умеет Нырять**».

Планеты делятся на две группы:

- **Планеты земной группы** – Меркурий, Венера, Земля, Марс. Маленькие, каменные, с твёрдой поверхностью – на неё можно посадить аппарат.
- **Планеты-гиганты** – Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун. Огромные, в основном из водорода и гелия, твёрдой поверхности, на которую можно сесть, у них нет. Юпитер и Сатурн называют газовыми гигантами, Уран и Нептун – ледяными гигантами. У **всех четырёх** гигантов есть кольца, просто у Сатурна они самые яркие.



Рисунок 1.2 – Планеты по порядку от Солнца. Диаметры нарисованы в одном масштабе, расстояния – нет: если бы и они были в масштабе, Нептун оказался бы в 30 раз дальше от Солнца, чем Земля, и на странице не поместился бы

Расстояния в Солнечной системе удобно мерить в **астрономических единицах** (а.е.). 1 а.е. – это среднее расстояние от Земли до Солнца, около 150 миллионов км.

Таблица 1.1

№	Планета	Диаметр, км	От Солнца, а.е.	Атмосфера
1	Меркурий	4 879	0,4	почти нет
2	Венера	12 104	0,7	плотная, углекислый газ
3	Земля	12 756	1	азот и кислород
4	Марс	6 792	1,5	разреженная, углекислый газ
5	Юпитер	142 984	5,2	водород и гелий
6	Сатурн	120 536	9,5	водород и гелий
7	Уран	51 118	19	водород, гелий, метан
8	Нептун	49 528	30	водород, гелий, метан

«Визитки» планет – то, по чему их узнают в задачах:

- **Меркурий** – самая маленькая планета и самая близкая к Солнцу. Год на нём длится 88 земных суток. Днём около +430 °С, ночью около –180 °С.
- **Венера – самая горячая** планета: около +460 °С, хотя она дальше от Солнца, чем Меркурий. Атмосфера очень плотная, из углекислого газа, облака – из серной кислоты, давление в 92 раза больше земного. Вращается в обратную сторону, и очень медленно: один оборот вокруг своей оси (243 земных дня) длится дольше, чем оборот вокруг Солнца (225 дней).
- **Земля** – единственная планета с жидкой водой на поверхности и жизнью. Один спутник – Луна.
- **Марс** – красный из-за оксидов железа («ржавчины») в грунте. Атмосфера очень разреженная: давление меньше 1 % земного. Гора Олимп высотой около 22 км – самая высокая гора на планетах Солнечной системы. Два маленьких спутника – Фобос и Деймос.
- **Юпитер – самая большая** планета. Большое красное пятно – вихрь больше Земли. Сутки около 10 часов – короче, чем у всех планет.
- **Сатурн** – яркие кольца из льда и камней. Средняя плотность (0,69 г/см³) меньше, чем у воды.
- **Уран** – голубой цвет ему даёт метан в атмосфере. Вращается «лёжа на боку»: ось наклонена на 98°. Первая планета, открытая в телескоп (Уильям Гершель, 1781 год).
- **Нептун** – самая далёкая планета, на нём самые сильные ветры в Солнечной системе. Открыт в 1846 году «на кончике пера»: сначала учёные вычислили, где он должен быть, и потом нашли его там в телескоп.

Про спутники планет: у Меркурия и Венеры спутников **нет совсем**, у Земли – один, у Марса – два. У гигантов их десятки: у Юпитера и Сатурна больше чем по 90, и астрономы почти каждый год находят новые мелкие. Точное число спутников гиганта меняется, поэтому в хорошей задаче его не спросят. А вот «у кого спутников нет» – вопрос с твёрдым ответом.

Запомни. Три «самых»: больше всех – Юпитер, меньше всех – Меркурий, горячее всех – Венера, хотя ближе всех к Солнцу не она. Первые четыре планеты – маленькие и каменные, последние четыре – гиганты, и кольца есть у каждого из них. Две первые планеты ходят без спутников.

Карликовые планеты. В 2006 году Международный астрономический союз договорился, что **планета** – это тело, которое обращается вокруг Солнца, настолько массивное, что собственная тяжесть сделала его круглым, и вдобавок «расчистило» свою орбиту – рядом с ним нет других тел сравнимого размера. Если тело круглое и кружит вокруг Солнца, а орбиту не расчистило, – это **карликовая планета**. Так Плутон перестал считаться девятой планетой. Сейчас карликовых планет пять: **Церера** (самое крупное тело пояса астероидов между Марсом и Юпитером), **Плутон**, **Эрида**, **Хаумеа** и **Макемаке** (все четыре – далеко за Нептуном). К Плутону в 2015 году впервые долетел американский аппарат New Horizons («Новые горизонты»).

1.2. Спутники планет: семь «личностей»

НА ПАЛЬЦАХ

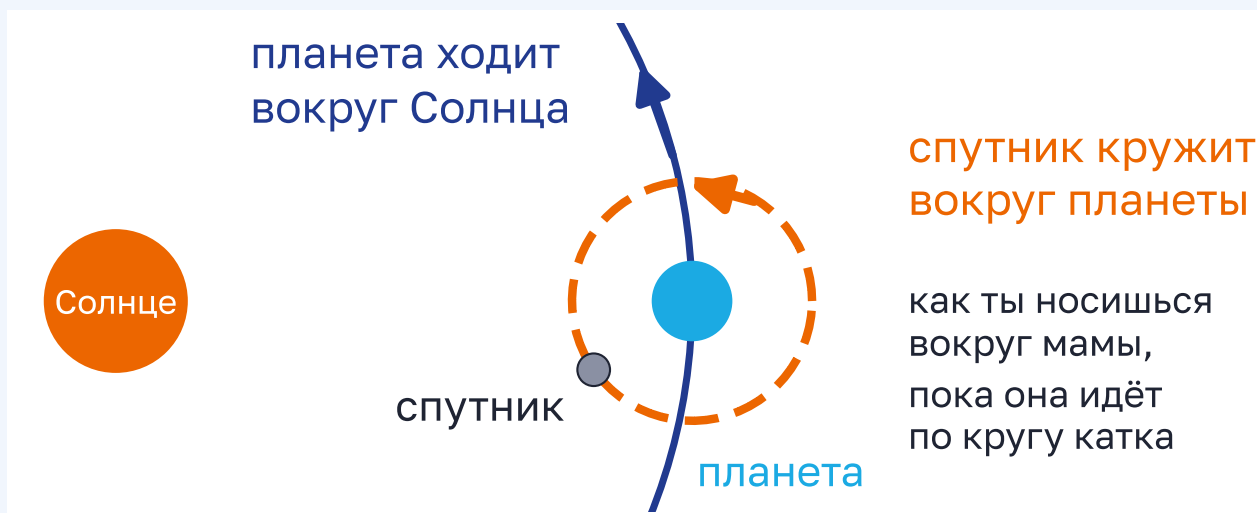


Рисунок 1.3 – Так Луна кружит вокруг Земли, пока Земля за год обходит Солнце

Спутник кружит вокруг планеты, а вместе они – вокруг Солнца.

Спутник – тело, которое обращается вокруг планеты. Большинство спутников – ничем не примечательные глыбы камня и льда. Но у некоторых есть яркая «визитка», и про них задачи составлять интереснее всего. Наша Луна, кстати, всего лишь пятая по размеру: её обгоняют Ганимед, Титан, Каллисто и Ио.

Таблица 1.2

Спутник	Чей	Диаметр, км
Луна	Земли	3 475
Ио	Юпитера	3 643

Спутник	Чей	Диаметр, км
Европа	Юпитера	3 122
Ганимед	Юпитера	5 268
Каллисто	Юпитера	4 821
Титан	Сатурна	5 150
Энцелад	Сатурна	504

- **Луна** всегда повернута к Земле одной стороной. Атмосферы нет. Единственное тело, где побывали люди. Среднее расстояние до Земли – около 384 400 км.
- **Ио** – самый вулканически активное тело Солнечной системы: сотни вулканов, выбросы серы, жёлто-оранжевая поверхность.
- **Европа** – гладкая ледяная кора в трещинах. Учёные считают, что под ней океан жидкой воды. В 2024 году к ней отправили американский аппарат Europa Clipper.
- **Ганимед** – **самый большой спутник** Солнечной системы, больше планеты Меркурий. Единственный спутник, у которого есть собственное магнитное поле.
- **Каллисто** – древняя поверхность, сплошь покрытая кратерами.
- **Титан** – второй по размеру спутник, тоже больше Меркурия. **Единственный спутник с плотной атмосферой** (в основном азот, давление у поверхности примерно в 1,5 раза больше земного). На нём озёра из жидкого метана. В 2005 году на Титан сел европейский зонд «Гюйгенс».
- **Энцелад** – маленький ледяной шар. У южного полюса из трещин бьют струи водяного пара и льда – их сфотографировал аппарат «Кассини».

Ио, Европу, Ганимед и Каллисто открыл Галилео Галилей в 1610 году, поэтому их называют **галилеевыми спутниками**.



Рисунок 1.4 – Самые крупные спутники, Меркурий и Плутон в одном масштабе. Ганимед и Титан больше планеты Меркурий, а Каллисто чуть-чуть меньше

Совет. «Больше» в задачах почти всегда значит «больше по диаметру». Ганимед больше Меркурия по размеру, но **легче по массе** примерно в два раза: Меркурий плотный, с большим железным ядром, а Ганимед примерно наполовину состоит из льда. Если в условии сказано «массивнее» или «тяжелее», сравнивай массу, а не диаметр.

1.3. Кометы, астероиды и метеориты

НА ПАЛЬЦАХ

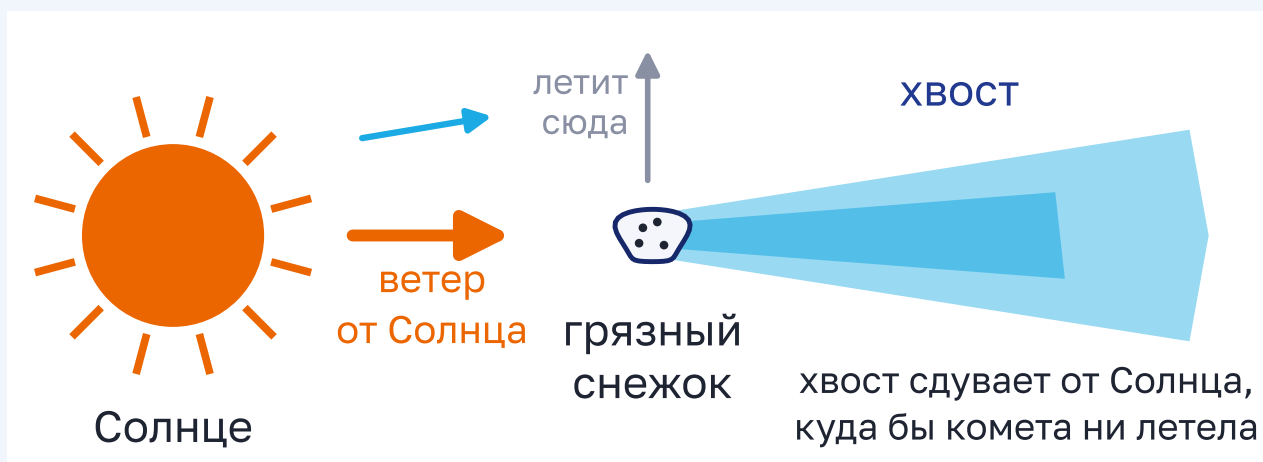


Рисунок 1.5 – Хвост смотрит от Солнца, даже когда комета летит вбок

Комета – грязный снежок. У Солнца он подтаивает, а солнечный ветер сдувает пар в сторону, как ветер – дым от костра.

Комета – небольшое тело из льда и пыли, «грязный снежок» размером обычно в несколько километров. Это **ядро** кометы. Пока комета далеко от Солнца, она тёмная и холодная, хвоста у неё нет. Когда она подлетает к Солнцу, лёд нагревается и испаряется, газ и пыль уходят с ядра. Вокруг ядра появляется светящееся облако – **кома** – и **хвост**, который может тянуться на десятки миллионов километров. Пыль в хвосте светится отражённым солнечным светом, газ светится под действием солнечного излучения. Ничего в хвосте не горит.

Почему хвост направлен от Солнца. От Солнца во все стороны летит поток частиц – **солнечный ветер**, а солнечный свет слегка давит на пылинки. Вместе они и сдувают газ и пыль прочь от Солнца. Поэтому хвост кометы **всегда направлен от Солнца**, а куда летит сама комета – ему всё равно. Когда комета летит к Солнцу, хвост тянется позади неё. Когда она обогнула Солнце и улетает прочь, хвост направлен вперёд – комета летит «хвостом вперёд».

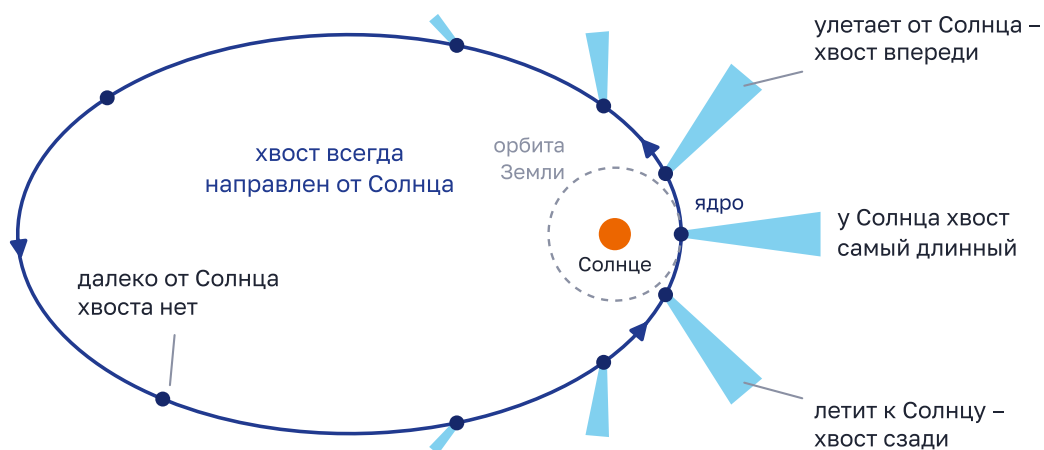


Рисунок 1.6 – Одна комета в разных точках орбиты. Хвост появляется вблизи Солнца, у Солнца он самый длинный и всегда смотрит от Солнца

Какие бывают орбиты комет. Орбита – это путь тела вокруг Солнца.

- **Эллипс** – замкнутая вытянутая орбита, похожая на обруч, если смотреть на него наискосок. Такая комета **возвращается** снова и снова, её называют периодической. Знаменитая комета Галлея возвращается примерно раз в 76 лет; последний раз она была у Солнца в 1986 году, следующий – в 2061 году.
- **Парабола и гипербола** – незамкнутые орбиты. Комета пролетает мимо Солнца **один раз** и уходит навсегда.

Самая близкая к Солнцу точка орбиты называется **перигелий**, самая далёкая (у эллипса) – **афелий**.

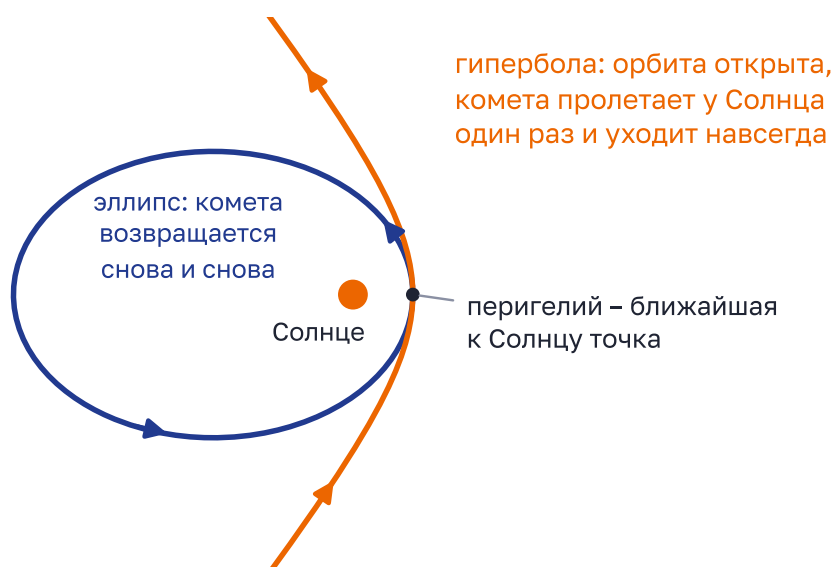


Рисунок 1.7 – Эллипс и гипербола. Обе орбиты проходят близко к Солнцу, но по эллипсу комета вернётся, а по гиперболе – нет

В 2019 году крымский астроном-любитель Геннадий Борисов открыл комету, которая прилетела к нам **из межзвёздного пространства** и летит по гиперболе: её назвали 2I/Борисов. Это первая известная межзвёздная комета.

Кометы изучали и вблизи. Советские станции «Вега-1» и «Вега-2» в 1986 году пролетели рядом с кометой Галлея и сфотографировали её ядро. Европейский аппарат «Розетта» в 2014 году вышел на орбиту вокруг кометы Чурюмова – Герасименко (её открыли советские астрономы в 1969 году) и сбросил на её ядро посадочный модуль «Филы».

Астероиды – каменные или железные тела без хвоста. Больше всего их в **поясе астероидов** между Марсом и Юпитером. Японские аппараты «Хаябуса» и «Хаябуса-2» и американский OSIRIS-REx привезли на Землю частицы астероидов.

Три похожих слова:

- **метеороид** – маленькое тело в космосе (камешек, пылинка);
- **метеор** («падающая звезда») – вспышка в небе, когда такое тело сгорает в атмосфере; в середине августа, во время звездопада Персеиды, на даче вдали от городских фонарей за час можно насчитать десятки метеоров;
- **метеорит** – то, что долетело до земли и упало. Например, Челябинский метеорит 15 февраля 2013 года.

Запомни. Хвост работает как указатель: продолжи его через голову кометы – и упрёшься в Солнце. Орбита замкнута – комета ещё прилетит, не замкнута – видим её в первый и последний раз. Метеор – вспышка в небе, метеорит – камень, который можно подержать в руках.

1.4. История космонавтики: главные вехи

НА ПАЛЬЦАХ

синим – СССР, оранжевым – США

каждая ступенька
труднее прошлой



Рисунок 1.8 – Главные «первые» 1957–1970 годов

Космос осваивали по ступенькам: сначала долететь, потом сфотографировать, потом сесть, потом вернуться с добычей.

Разработчики сферы на вебинаре просили: знайте **отечественную** космонавтику дальше Гагарина – Королёва, Леонова, первые автоматические станции. Ниже – минимум, который стоит держать в голове. Остальное за минуту находится поиском.

Люди.

- **Константин Эдуардович Циолковский** (1857–1935) – учитель из Калуги, с детства плохо слышал. В 1903 году опубликовал работу «Исследование мировых пространств реактивными приборами», где показал, что в космос можно полететь на ракете. Придумал многоступенчатые ракеты («ракетные поезда») и космические станции.
- **Юрий Васильевич Кондратюк** (1897–1942) – изобретатель-самоучка, жил и работал в Новосибирске. В 1929 году на собственные деньги издал здесь книгу «Завоевание межпланетных пространств». В ней он предложил способ полёта на Луну: корабль выходит на орбиту вокруг Луны, а вниз спускается только маленький посадочный отсек. Похожую схему через сорок лет использовали американские «Аполлоны».
- **Сергей Павлович Королёв** (1907–1966) – главный конструктор. Под его руководством создали ракету Р-7, первый спутник, корабль «Восток» и многое другое.
- **Юрий Алексеевич Гагарин** – первый человек в космосе: 12 апреля 1961 года, корабль «Восток», один виток вокруг Земли за 108 минут. Сказал на старте: «Поехали!»
- **Валентина Владимировна Терешкова** – первая женщина в космосе: 16 июня 1963 года, корабль «Восток-6», почти трое суток полёта.
- **Алексей Архипович Леонов** – первый выход в открытый космос: 18 марта 1965 года, корабль «Восход-2», около 12 минут за бортом. Родом почти наш сосед – из села Листвянка в Кузбассе.
- **Валерий Владимирович Поляков** – самый долгий полёт в одной экспедиции: 437 суток на станции «Мир» (1994–1995).

Первые автоматические аппараты и станции (СССР и Россия).

Таблица 1.3

Когда	Что	Чем знаменит
4 октября 1957	«Спутник-1»	первый искусственный спутник
3 ноября 1957	«Спутник-2»	Лайка – первое животное на орбите
сентябрь 1959	«Луна-2»	первым долетел до Луны
октябрь 1959	«Луна-3»	первые снимки обратной стороны Луны
август 1960	«Спутник-5»	Белка и Стрелка вернулись живыми
3 февраля 1966	«Луна-9»	первая мягкая посадка на Луну
сентябрь 1970	«Луна-16»	лунный грунт на Земле
17 ноября 1970	«Луна-17» с «Луноходом-1»	первый в мире планетоход
15 декабря 1970	«Венера-7»	первая посадка на другую планету

Когда	Что	Чем знаменит
19 апреля 1971	«Салют-1»	первая орбитальная станция
1986–2001	станция «Мир»	работала на орбите 15 лет
15 ноября 1988	«Буран»	многоразовый корабль
1998	МКС	начало сборки
с 1967 года	корабль «Союз»	летает дольше всех
2019	«Спектр-РГ»	рентгеновская обсерватория

Подробнее о некоторых из них:

- **«Спутник-1»** – шар диаметром 58 см, масса 83,6 кг, четыре антенны, передавал радиосигнал «бип-бип». Его запустила ракета Р-7 с Байконура.
- **«Спутник-2»** увёз на орбиту собаку Лайку; вернуть её на Землю не могли. Белка и Стрелка на «Спутнике-5» – первые животные, вернувшиеся с орбиты живыми.
- **«Луна-2»** врезалась в поверхность Луны – так и задумывалось.
- **«Луна-9»** передала и первые снимки с поверхности Луны.
- **«Луна-16»** – первый автомат, доставивший лунный грунт на Землю (101 г).
- **«Луноход-1»** управляли с Земли. Он проработал на Луне почти 10 месяцев и проехал около 10,5 км.
- **«Венера-7»** – первая мягкая посадка на другую планету и первая передача данных с её поверхности.
- **«Буран»** слетал в космос один раз, без экипажа, и сам сел на аэродром.
- **МКС** – Международная космическая станция; её сборка началась с российского модуля «Заря».
- **«Союз»** летает дольше всех пилотируемых кораблей в истории. Сейчас он возит экипажи на МКС, а грузы возит его «родственник» – грузовой корабль «Прогресс».
- **«Спектр-РГ»** – российско-германская обсерватория с рентгеновскими телескопами; работает в 1,5 млн км от Земли.

Про «Венеры» стоит знать чуть больше. Сесть на планету, где +460 °С и давление как на глубине почти километр в океане, – задача на грани возможного, и советские станции её решили: «Венера-7» впервые передала данные с поверхности, «Венера-9» (1975) – первые снимки поверхности Венеры, «Венера-13» (1982) – цветные снимки.

Главные зарубежные вехи.

Таблица 1.4

Когда	Что	Чем знаменит
декабрь 1968	«Аполлон-8» (США)	первые люди облетели Луну
20 июля 1969	«Аполлон-11» (США)	первые люди на Луне
июль 1975	«Союз» – «Аполлон»	первая стыковка кораблей двух стран

Когда	Что	Чем знаменит
1977	«Вояджер-1» и «Вояджер-2» (США)	полёт к планетам-гигантам
2010	«Хаябуса» (Япония)	первые частицы астероида на Земле
2012 и 2021	Curiosity и Perseverance (США)	марсоходы размером с автомобиль
2019	«Чанъэ-4» (Китай)	посадка на обратную сторону Луны

- **«Аполлон-8»** облетел Луну, не садясь на неё.
- **«Аполлон-11»** – Нил Армстронг и Базз Олдрин, первые люди на Луне. Всего на Луне с 1969 по 1972 год побывали 12 человек.
- **«Союз» – «Аполлон»** – первая стыковка кораблей двух стран, СССР и США.
- **«Вояджер-2»** – единственный аппарат, побывавший у Урана (1986) и Нептуна (1989). **«Вояджер-1»** в 2012 году вышел в межзвёздное пространство, это самый далёкий от Земли аппарат.
- **«Хаябуса»** доставила на Землю частицы астероида Итокава.
- С **Perseverance** прилетел вертолёт Ingenuity – первый полёт летательного аппарата с двигателем на другой планете.
- **«Чанъэ-4»** – первая мягкая посадка на обратную сторону Луны.

Первый марсоход, который реально ездил по Марсу, – маленький американский Sojourner (1997). А первая мягкая посадка на Марс – у советской станции «Марс-3» (1971), но связь с ней прервалась через несколько секунд.

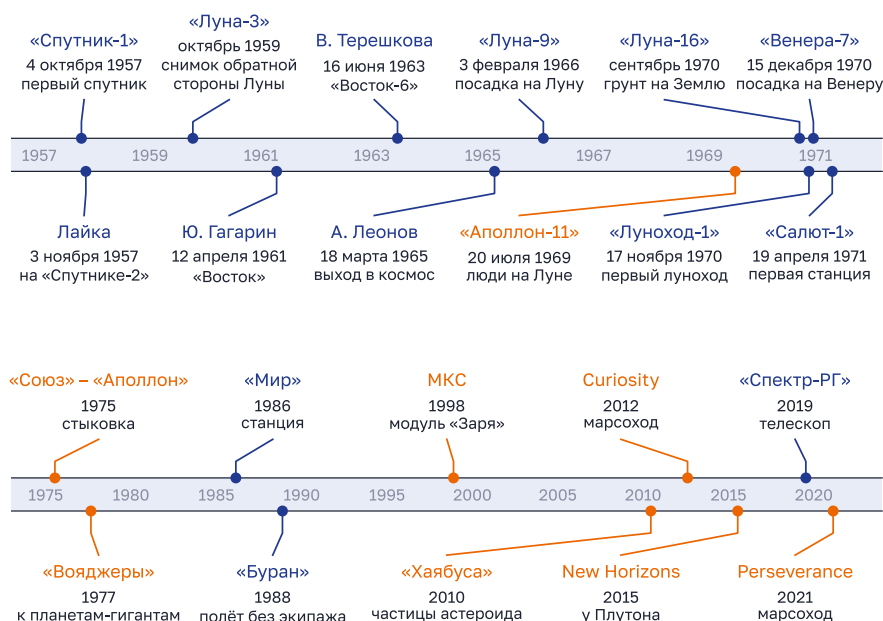


Рисунок 1.9 – Шкала времени космонавтики. Точки стоят на датах, синим – СССР и Россия, оранжевым – другие страны

Запомни. Почти все «первые» уложились в 14 лет – с 1957 по 1971 год. Держи в голове опорные года: 1957 – спутник, 1961 – Гагарин, 1965 – Леонов, 1969 – люди на Луне, 1970 – сразу три «первых» (грунт, луноход, посадка на Венеру). Любую другую дату ставь относительно них.

Совет. Различай **дату запуска** и **дату события**. «Венеру-7» запустили в августе 1970 года, а села она на Венеру только в декабре – лететь пришлось четыре месяца. «Луноход-1» – это не название ракеты и не станции: его привезла станция «Луна-17». Если в задаче спрашивают «когда», смотри, о каком событии речь.

1.5. Какие бывают космические аппараты

НА ПАЛЬЦАХ

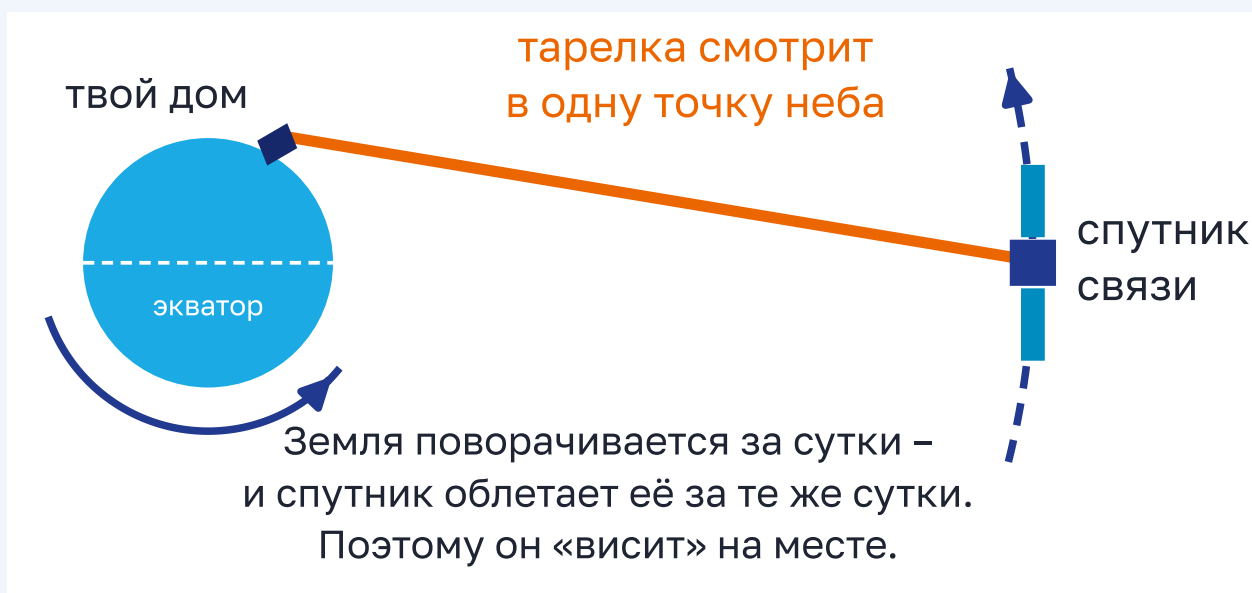


Рисунок 1.10 – Геостационарный спутник и тарелка на твоём доме

Спутник связи облетает Землю за то же время, за которое Земля делает один оборот. Поэтому он «висит» в одной точке неба, и тарелку наводят один раз и навсегда.

Космический аппарат (КА) – всё, что человек отправил в космос и что там работает: спутник, станция, корабль, зонд. В задачах КА часто описывают загадкой, а тебе нужно угадать тип. Главные подсказки – на какой высоте аппарат летает и чем занят.

Таблица 1.5

Тип	Зачем	Где летает	Примеры
Спутник связи	передаёт телевидение, интернет, телефонную связь	часто на геостационарной орбите : 35 786 км над экватором	«Экспресс», «Ямал»

Тип	Зачем	Где летает	Примеры
Спутник ДЗЗ (дистанционного зондирования Земли)	снимает Землю: карты, пожары, паводки, лёд, урожай	низкие орбиты, обычно 500–800 км	«Ресурс-П», «Канопус-В»
Метеоспутник (тоже ДЗЗ)	следит за облаками и погодой	низкие орбиты или геостационарная	«Метеор-М», «Электро-Л»
Навигационный спутник	по его сигналам телефон или навигатор узнаёт, где он находится	около 19 100 км (ГЛОНАСС)	ГЛОНАСС (Россия), GPS (США), Galileo (Евро-союз), BeiDou (Китай)
Научный спутник, космический телескоп	изучает Солнце, звёзды, галактики	разные орбиты	«Спектр-РГ», телескопы «Хаббл» и «Джеймс Уэбб»
Автоматическая межпланетная станция (АМС)	улетает от Земли к Луне, планетам, кометам	по траектории к цели	«Луна», «Венера», «Вега», «Вояджер»
Пилотируемый корабль	возит людей в космос и обратно	низкая орбита, Луна	«Восток», «Союз», «Аполлон»
Грузовой корабль	возит на станцию топливо, воду, еду, приборы	низкая орбита	«Прогресс»
Орбитальная станция	на ней люди живут и работают месяцами	около 400–420 км (МКС)	«Салют», «Мир», МКС

На **геостационарной орбите** спутник делает оборот за те же 23 ч 56 мин, что и Земля, и поэтому «висит» над одной точкой экватора. **Спутник ДЗЗ** не только фотографирует Землю, но и «прощупывает» её из космоса разными приборами.

ГЛОНАСС – российская глобальная навигационная система: не меньше 24 рабочих спутников на высоте около 19 100 км в трёх плоскостях. Когда приложение показывает, где сейчас едет твой автобус, навигатор в автобусе ловит сигналы сразу нескольких таких спутников. Чтобы определить координаты, ему нужны сигналы как минимум четырёх одновременно.

Малые спутники. Сейчас много совсем маленьких спутников – например, **кубсатов** (CubeSat): базовый кубик имеет размер 10 × 10 × 10 см. Их строят студенты и даже школьники. На финале сферы «Космотех» ты будешь работать с учебным **пикоспутником** – ещё меньше. Любой космический аппарат, даже маленький, состоит из похожих систем. В курсе их пять: система управления (СУ) – «мозг», бортовой компьютер; система ориентации и стабилизации (СОС) – держит аппарат нужной стороной к Солнцу, Земле или цели; система терморегулирования (СТР) – следит, чтобы аппарат не перегрелся на свету (там до 150 °С) и не замёрз в тени; система электропитания (СЭП) – солнечные батареи и аккумуляторы; бортовой радиокомплекс (БРК) – радиосвязь с Землёй. Кроме них есть **полезная нагрузка** – то, ради чего аппарат запустили (камера, датчик, передатчик). Подробно про системы спутника – в главе 8, про орбиты – в главе 4.



Рисунок 1.11 – Где летают аппараты разных типов. Высоты орбит нарисованы в масштабе: геостационарная орбита дальше от поверхности Земли, чем пять с половиной радиусов самой Земли

Запомни. Тип аппарата выдаёт высота. Сотни километров – там снимают Землю и живут на станции. Около 19 тысяч – навигация. Почти 36 тысяч над экватором – связь и погода. Улетел от Земли насовсем – межпланетная станция. А разница между кораблём и станцией простая: корабль людей возит, на станции люди живут.

1.6. Как решать задачи на эрудицию

Наизусть диаметр Каллисто не помнит никто, и не нужно. В заданиях прошлых лет прямо говорилось, что надо уметь искать информацию и разбираться с найденным. Действуй так.

1. **Прочитай формат.** «Выбери все верные» – верных может быть сколько угодно, в том числе все или один. «Таблица» – в строке может не быть ни одной галочки. «Сопоставь» – если подходят несколько пар, выбирай **самое точное** соответствие.
2. **Отметь, что знаешь точно.** Обычно это половина пунктов.
3. **Проверь остальное поиском.** Пиши короткий запрос: «Титан диаметр км», «Луна-9 дата посадки», «Хаябуса-2 астероид». Смотри **карточку** в начале статьи Википедии – там собраны размеры, даты и принадлежность. Для важных чисел загляни во второй источник (сайты NASA, Роскосмоса).
4. **Сравнивай одинаковое с одинаковым.** Диаметр с диаметром (не радиус с диаметром), дату посадки с датой посадки (не с датой запуска). Размеры в разных источниках могут чуть отличаться (средний диаметр и экваториальный) – для упорядочивания это обычно не важно, а если числа очень близки, возьми их из одного источника.
5. **Проверь слова-ловушки:** «всегда», «только», «единственный», «первый». Одно исключение делает такое утверждение ложным.

Совет. Имена космических аппаратов по-русски пишут по-разному: «Хаябуса» и Hayabusa, «Кассини» и Cassini. Если по русскому названию ничего не находится, попробуй английское.

1.7. Разбираем задачи

Задача 1.1 Узнай планету по визитке

разминка · планеты Солнечной системы, сопоставление

Сопоставь описания и планеты. Одна планета лишняя.

1. Самая горячая планета: у поверхности около +460 °С, облака из серной кислоты.
2. Её средняя плотность меньше плотности воды, а кольца видны даже в школьный телескоп.
3. Вращается «лёжа на боку» – ось наклонена почти на 98°.
4. Здесь находится гора Олимп высотой около 22 км.
5. Самая маленькая планета и самая близкая к Солнцу; год на ней длится 88 земных суток.
6. Её сначала вычислили на бумаге и только потом нашли в телескоп.

Планеты: **А** – Меркурий, **Б** – Венера, **В** – Марс, **Г** – Юпитер, **Д** – Сатурн, **Е** – Уран, **Ж** – Нептун.

Дано: 6 описаний, 7 планет.

Найти: пары «описание – планета».

Решение

Шаг 1. Самые узнаваемые визитки. «Самая горячая» – Венера (1 – Б). «Самая маленькая и ближайшая к Солнцу» – Меркурий (5 – А). Олимп – вулкан на Марсе (4 – В).

Шаг 2. Кольца и плотность. Кольца есть у всех гигантов, так что «кольца» сами по себе не подсказка. Но плотность меньше воды – только у Сатурна (0,69 г/см³), и его кольца самые яркие (2 – Д).

Шаг 3. Оставшиеся два. «Лёжа на боку» – Уран (3 – Е). Открытие «на кончике пера» по расчётам – Нептун (6 – Ж).

Шаг 4. Кто остался без пары. Каждая буква ушла по одному разу, а Юпитер (Г) остался не у дел – та самая лишняя планета из условия.

 **Типичная ошибка.** Ответить «Меркурий» на описание 1: «он же ближе всех к Солнцу, значит, самый горячий». Но у Меркурия почти нет атмосферы, и тепло не держится, а плотная углекислая атмосфера Венеры работает как толстое одеяло.

Ответ: 1 – Б, 2 – Д, 3 – Е, 4 – В, 5 – А, 6 – Ж (Юпитер лишний).

Своя задача по программе сферы, модуль 1

Реши сам

1.1. Какая планета – шестая по счёту от Солнца?

1.2. Выбери все планеты, у которых нет ни одного спутника: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

1.3. Выбери все верные утверждения.

- **А.** Венера горячее Меркурия, хотя она дальше от Солнца.
- **Б.** У Марса два спутника – Фобос и Деймос.
- **В.** Кольца есть только у Сатурна.
- **Г.** Атмосфера Марса плотнее земной.
- **Д.** С 2006 года Плутон считают карликовой планетой.
- **Е.** Один оборот вокруг своей оси Венера делает дольше, чем один оборот вокруг Солнца.
- **Ж.** Уран – самая далёкая от Солнца планета.

Задача 1.2 Кто больше

размеры тел Солнечной системы, упорядочивание

Расставь небесные тела в порядке **убывания** диаметра (самое большое – первым): **А** – Земля, **Б** – Меркурий, **В** – Ганимед, **Г** – Титан, **Д** – Луна, **Е** – Марс, **Ж** – Плутон, **З** – Европа.

Дано: 8 тел: 4 планеты, 3 спутника, 1 карликовая планета.

Найти: порядок по убыванию диаметра.

Решение

Шаг 1. Выпишем диаметры (из таблиц разделов 1.1 и 1.2 или из карточек в Википедии – в одних и тех же единицах, в километрах):

Таблица 1.6

Тело	Диаметр, км
Земля	12 756
Марс	6 792
Ганимед	5 268
Титан	5 150
Меркурий	4 879
Луна	3 475
Европа	3 122
Плутон	2 377

Шаг 2. Упорядочим. $12\,756 > 6\,792 > 5\,268 > 5\,150 > 4\,879 > 3\,475 > 3\,122 > 2\,377$.

Шаг 3. Переведём в буквы. Земля (А), Марс (Е), Ганимед (В), Титан (Г), Меркурий (Б), Луна (Д), Европа (З), Плутон (Ж).

Шаг 4. Где подвох. Планета Меркурий оказалась меньше двух спутников – на этом задача и ловит, а мы это уже видели на рисунке со спутниками. Плутон меньше Луны – тоже известный факт: он маленький даже для карликовой планеты.

 **Типичная ошибка.** Рассуждать «планета всегда больше спутника» и поставить Меркурий перед Ганимедом и Титаном. Порядок «поедет» и тогда, когда у одного тела взят радиус, а у другого диаметр: радиус Ганимеда (2 634 км) меньше диаметра Луны.

Ответ: А, Е, В, Г, Б, Д, З, Ж.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Размеры небесных тел»

Реши сам

1.4. Во сколько раз диаметр Юпитера больше диаметра Земли? Возьми диаметры из таблицы раздела 1.1 и округли ответ до целых.

1.5. Расставь тела в порядке убывания диаметра: **А** – Нептун, **Б** – Земля, **В** – Уран, **Г** – Венера, **Д** – Каллисто, **Е** – Ио.

1.6.* Выбери все карликовые планеты: **А** – Плутон, **Б** – Церера, **В** – Веста, **Г** – Эрида, **Д** – Харон, **Е** – Макемаке, **Ж** – Тритон, **З** – Ганимед. Подсказка: проверь каждое тело поиском – кто из них обращается вокруг планеты, а кто – вокруг Солнца.

Задача 1.3 Незванная гостья

кометы, хвост кометы, типы орбит

Астрономы открыли новую комету и выяснили, что она летит вокруг Солнца **по гиперболе**. Скоро её хвост можно будет увидеть в бинокль. Выбери **все** верные утверждения.

- **А.** Комета вернётся к Солнцу примерно через 76 лет, как комета Галлея.
- **Б.** Хвост кометы направлен в сторону от Солнца.
- **В.** Хвост всегда тянется позади кометы, как след за самолётом.
- **Г.** Когда комета обогнёт Солнце и полетит прочь, её хвост будет направлен примерно вперёд, по ходу движения.
- **Д.** Хвост – это газ и пыль, которые уходят с ядра, когда Солнце нагревает его лёд.
- **Е.** Далеко за орбитой Нептуна хвост у кометы будет таким же ярким, как вблизи Солнца.
- **Ж.** Эта комета пролетит мимо Солнца один раз и больше не вернётся.
- **З.** Хвост светится, потому что в нём горит огонь.

Дано: орбита – гипербола; у кометы есть хвост.

Найти: все верные утверждения.

Решение

Шаг 1. Что значит «гипербола». Это незамкнутая орбита: комета пролетает мимо Солнца один раз и уходит навсегда. Значит, **Ж** – верно, а **А** – неверно (возвращаются только кометы на эллипсе).

Шаг 2. Куда смотрит хвост. Хвост сдувают солнечный ветер и давление света, поэтому он всегда направлен от Солнца: **Б** – верно. Направление движения тут ни при чём, поэтому **В** («всегда позади») – неверно. Когда комета улетает от Солнца, «от Солнца» и «вперёд по ходу движения» – почти одно и то же направление: **Г** – верно. Посмотри на рисунок с хвостами в разделе 1.3.

Шаг 3. Откуда хвост и почему светится. Хвост – газ и пыль, которые уходят с ядра, когда Солнце нагревает лёд: **Д** – верно. Вдали от Солнца лёд не нагревается, хвоста почти нет: **Е** – неверно. Огня в космосе у кометы нет: пыль отражает солнечный свет, а газ светится под действием солнечного излучения: **З** – неверно.

Остаются четыре верных: Б, Г, Д, Ж.

 **Типичная ошибка.** Чаще всего галочку ставят у В: на картинках комету рисуют «как ракету с выхлопом», и кажется, что хвост – это след. Но хвост не тянется за кометой, его сдувает от Солнца.

Ответ: Б, Г, Д, Ж.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Что вы знаете про кометы?»

Реши сам

1.7. Комета обращается вокруг Солнца по вытянутому эллипсу: ближайшая к Солнцу точка орбиты – ближе орбиты Земли, самая далёкая – за орбитой Юпитера. Выбери все верные утверждения.

- **А.** Комета снова вернётся к Солнцу.
- **Б.** Вблизи Солнца хвост у кометы длиннее, чем около орбиты Юпитера.
- **В.** Когда комета летит к Солнцу, её хвост направлен примерно назад, против движения.
- **Г.** Хвост всегда направлен к Солнцу, потому что Солнце его притягивает.
- **Д.** Орбита этой кометы – гипербола.

1.8. Комета Галлея подходит к Солнцу примерно раз в 76 лет, последний раз это было в 1986 году. Выбери все верные утверждения.

- **А.** Орбита кометы Галлея замкнутая – это эллипс.
- **Б.** В самой далёкой от Солнца точке орбиты (в афелии) хвост у кометы самый длинный.
- **В.** Если мысленно продолжить хвост через голову кометы, линия упрётся в Солнце.
- **Г.** В 1986 году рядом с кометой Галлея пролетели советские станции «Вега-1» и «Вега-2».
- **Д.** Комета Галлея прилетела из межзвёздного пространства, как 2I/Борисов.
- **Е.** Ядро кометы – раскалённый камень, который горит у Солнца.

Задача 1.4 Спутники с характером

спутники Юпитера и Сатурна, таблица «верно для какого тела»

Для каждого утверждения отметь **все** спутники, для которых оно верно: Ио, Европа, Ганимед, Каллисто, Титан, Энцелад. В строке может быть одна галочка, несколько или ни одной.

1. Это спутник Юпитера.
2. Он больше планеты Меркурий по диаметру.
3. Это самый большой спутник в Солнечной системе.
4. У него плотная азотная атмосфера, давление у поверхности больше земного.
5. Это самое вулканически активное тело Солнечной системы.
6. Его открыл Галилео Галилей в 1610 году.
7. На его поверхность сел зонд «Гюйгенс».
8. У южного полюса из трещин бьют струи водяного пара и льда, их снимал аппарат «Кассини».
9. Под его ледяной корой, как считают учёные, есть океан, и в 2024 году к нему отправили аппарат Europa Clipper.
10. Он обращается вокруг Урана.

Дано: 6 спутников, 10 утверждений.

Найти: для каждого утверждения – все подходящие спутники.

Решение

Шаг 1. Разложим спутники по планетам. Ио, Европа, Ганимед, Каллисто – спутники Юпитера; Титан и Энцелад – Сатурна. Строка 1: Ио, Европа, Ганимед, Каллисто. Строка 6: те же четыре, все их открыл Галилей.

Шаг 2. Размеры. Меркурий – 4 879 км. Больше него только Ганимед (5 268 км) и Титан (5 150 км). Каллисто (4 821 км) – меньше, хоть и чуть-чуть. Строка 2: Ганимед, Титан. Строка 3: Ганимед.

Шаг 3. «Визитки». Плотная азотная атмосфера – только Титан (строка 4), «Гюйгенс» сел тоже на Титан (строка 7). Вулканы – Ио (строка 5). Струи пара, снятые «Кассини», – Энцелад (строка 8). Europa Clipper летит к Европе – это видно даже из названия (строка 9).

Шаг 4. Строка без галочек. Ни один из шести спутников не обращается вокруг Урана: у Урана свои спутники (Титания, Оберон и другие). Строка 10 остаётся пустой – и это правильный ответ, а не «забыл отметить».

 **Типичная ошибка.** Каллисто в строке 2. Она почти такая же, как Меркурий, и «на глаз» кажется больше. Когда числа близкие, сравнивай числа, а не впечатление: $4\,821 < 4\,879$. А ещё рука тянется поставить хоть что-то в строку 10, потому что «пустых строк не бывает». Бывают – условие об этом предупреждало.

Ответ: 1 – Ио, Европа, Ганимед, Каллисто; 2 – Ганимед, Титан; 3 – Ганимед; 4 – Титан; 5 – Ио; 6 – Ио, Европа, Ганимед, Каллисто; 7 – Титан; 8 – Энцелад; 9 – Европа; 10 – ни одного.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Спутники больших планет»

Реши сам

1.9. Для каждого утверждения отметь все подходящие тела: Луна, Ио, Европа, Титан, Энцелад.

1. Спутник Сатурна.
2. На нём побывали люди.
3. Его диаметр больше 3 000 км.
4. На нём извергаются вулканы с раскалённой лавой.
5. У него плотная атмосфера.
6. Спутник Юпитера.

1.10.* Выбери все верные утверждения. Для проверки пригодятся массы (в одних и тех же единицах): Меркурий – 330 миллиардов миллиардов тонн, Ганимед – 148 миллиардов миллиардов тонн.

- **А.** Ганимед больше Меркурия по диаметру.
- **Б.** Ганимед массивнее (тяжелее) Меркурия.
- **В.** Титан больше Меркурия по диаметру.
- **Г.** Каллисто больше Меркурия по диаметру.
- **Д.** Меркурий – самая маленькая из восьми планет.
- **Е.** Луна больше Меркурия по диаметру.

Задача 1.5 Лунная гонка

история исследования Луны, сопоставление

В 1960-е годы СССР и США соревновались в исследовании Луны. Сопоставь аппараты и их достижения.

Аппараты: **1** – «Луна-2», **2** – «Луна-3», **3** – «Луна-9», **4** – «Аполлон-8», **5** – «Аполлон-11», **6** – «Луна-16», **7** – «Луноход-1».

Достижения:

- **А.** Первые люди прошли по Луне.
- **Б.** Первый аппарат, долетевший до Луны: он врезался в поверхность, как и было задумано.
- **В.** Первые снимки обратной стороны Луны.
- **Г.** Первая мягкая посадка на Луну и первые снимки с её поверхности.
- **Д.** Первые люди облетели Луну, не садясь на неё.
- **Е.** Первый автомат, доставивший лунный грунт на Землю.
- **Ж.** Первый планетоход, которым управляли с Земли.

Дано: 7 аппаратов, 7 достижений.

Найти: пары «аппарат – достижение».

Решение

Шаг 1. Сначала – пилотируемые. «Аполлоны» – американские корабли с экипажем, значит, им достаются достижения с людьми: А и Д. «Аполлон-11» – знаменитая посадка 20 июля 1969 года (5 – А). «Аполлон-8» в декабре 1968 года облетел Луну без посадки (4 – Д).

Шаг 2. Слово «ход» в названии. «Луноход-1» – планетоход (7 – Ж).

Шаг 3. Советские «Луны» по порядку номеров. Номера шли по времени, а задачи усложнялись: сначала долететь, потом сфотографировать, потом сесть, потом вернуть грунт. «Луна-2» (1959) – долетела и врезалась (1 – Б). «Луна-3» (1959) – сфотографировала обратную сторону (2 – В). «Луна-9» (1966) – мягкая посадка (3 – Г). «Луна-16» (1970) – грунт (6 – Е).

Шаг 4. Проверка поиском. Если не уверен, введи «Луна-9» в поиск: в первой же строке статьи будет «первая мягкая посадка на Луну». Так же быстро проверяется любая строка.

 **Типичная ошибка.** «Первый грунт на Земле» так и хочется отдать «Аполлону-11»: он же был раньше. Астронавты действительно привезли грунт в 1969 году, но пункт Е говорит про **автомат** – аппарат без людей. Это «Луна-16». Читай каждое слово условия.

Ответ: 1 – Б, 2 – В, 3 – Г, 4 – Д, 5 – А, 6 – Е, 7 – Ж.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Исследования Луны в эмблемах и значках»

Реши сам

1.11. Сопоставь людей и их вклад в космонавтику.

Люди: **1** – К. Э. Циолковский, **2** – С. П. Королёв, **3** – Ю. А. Гагарин, **4** – В. В. Терешкова, **5** – А. А. Леонов, **6** – В. В. Поляков.

Вклад: **А** – первым вышел в открытый космос; **Б** – 437 суток подряд провёл на станции «Мир»; **В** – первый человек в космосе; **Г** – учитель из Калуги, в 1903 году доказал, что в космос можно полететь на ракете; **Д** – первая женщина в космосе; **Е** – главный конструктор первого спутника и корабля «Восток».

1.12. Сопоставь аппараты и их «первые» достижения.

Аппараты: **1** – «Луна-3», **2** – «Венера-7», **3** – «Луноход-1», **4** – «Восход-2», **5** – «Салют-1», **6** – «Вояджер-2».

Достижения: **А** – первая орбитальная станция; **Б** – первый планетоход; **В** – единственный аппарат, побывавший у Урана и Нептуна; **Г** – первые снимки обратной стороны Луны; **Д** – с него человек впервые вышел в открытый космос; **Е** – первая мягкая посадка на другую планету.

1.13. Расставь события по времени, от раннего к позднему: **А** – выход Леонова в открытый космос; **Б** – запуск «Спутника-1»; **В** – «Луноход-1» на Луне; **Г** – полёт Гагарина; **Д** – высадка «Аполлона-11»; **Е** – полёт Терешковой; **Ж** – мягкая посадка «Луны-9».

Задача 1.6 Угадай аппарат

типы космических аппаратов, орбиты, сопоставление

Сопоставь описания КА и их типы. Если подходит несколько вариантов, выбирай самый точный.

1. КА «висит» над одной точкой экватора на высоте около 36 тысяч км и передаёт телевидение в посёлки тайги.
2. Больше двух десятков КА летают на высоте около 19 100 км; по их сигналам телефон узнаёт свои координаты.
3. КА на высоте нескольких сотен километров фотографирует лесные пожары и разливы рек.
4. КА навсегда покинул окрестности Земли и пролетел мимо Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна.
5. КА с экипажем пристыковывается к станции, а через полгода возвращает людей на Землю.
6. КА на высоте около 400 км, на нём постоянно живут и работают люди.
7. КА с рентгеновскими телескопами наблюдает далёкие галактики с расстояния 1,5 млн км от Земли.

Типы: **А** – орбитальная станция, **Б** – спутник связи, **В** – научный спутник (космическая обсерватория), **Г** – навигационный спутник, **Д** – пилотируемый корабль, **Е** – спутник ДЗЗ, **Ж** – автоматическая межпланетная станция.

Дано: 7 описаний, 7 типов.

Найти: пары «описание – тип».

Решение

Шаг 1. Ищем ключевые слова. В каждом описании есть «зацепка»:

Таблица 1.7

Описание	Зацепка	Тип
1	над экватором, 36 тысяч км, телевидение	Б – спутник связи
2	19 100 км, координаты	Г – навигационный спутник
3	фотографирует Землю	Е – спутник ДЗЗ
4	улетел мимо планет	Ж – межпланетная станция
5	экипаж, стыковка, возвращение	Д – пилотируемый корабль
6	400 км, люди живут постоянно	А – орбитальная станция
7	телескопы, галактики	В – научный спутник

По зацепкам узнаются и сами аппараты: «висит» над точкой экватора на 36 тысячах км – спутник на геостационарной орбите; 19 100 км и координаты – ГЛОНАСС; мимо планет-гигантов пролетел «Вояджер-2»; экипаж и возвращение – «Союз»; 400 км и люди живут постоянно – МКС; рентгеновские телескопы – «Спектр-РГ».

Шаг 2. Где могла быть путаница. Описания 5 и 6 оба «с людьми». Но корабль людей **возит** и возвращает, а станция – дом, где люди **живут**. Описание 1: телевизионный спутник тоже что-то «видит» с орбиты, но его работа – передавать сигнал, а не снимать Землю, поэтому самый точный вариант – связь, а не ДЗЗ.

 **Типичная ошибка.** ГЛОНАСС часто записывают в спутники связи («по нему же звонят»). Навигационный спутник ничего не передаёт от человека к человеку: он только посылает сигналы точного времени, по которым приёмник сам вычисляет, где находится.

Ответ: 1 – Б, 2 – Г, 3 – Е, 4 – Ж, 5 – Д, 6 – А, 7 – В.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Орбиты и спутники»

Реши сам

1.14. Какой тип КА нужен для каждой задачи? Сопоставь.

Задачи: **1** – узнать, где сейчас едет школьный автобус; **2** – сфотографировать весенний разлив реки; **3** – передать телевидение в посёлок в тайге; **4** – изучать рентгеновское излучение далёких галактик; **5** – доставить экипаж на МКС и вернуть домой; **6** – привезти на МКС топливо, воду и еду; **7** – долететь до Юпитера и изучить его спутники.

Типы: **А** – грузовой корабль; **Б** – спутник связи; **В** – автоматическая межпланетная станция; **Г** – спутник ДЗЗ; **Д** – навигационный спутник; **Е** – пилотируемый корабль; **Ж** – научный спутник-обсерватория.

1.15. Расставь аппараты по удалению от поверхности Земли, от самого близкого к самому далёкому: **А** – МКС, **Б** – спутник ГЛОНАСС, **В** – спутник связи «Ямал» на геостационарной орбите, **Г** – спутник ДЗЗ «Канопус-В», **Д** – обсерватория «Спектр-РГ».

Задача 1.7* Посылка из космоса

доставка грунта, история космонавтики, таблица и упорядочивание

Вещество с других небесных тел на Землю доставляли несколько миссий. Возьмём четыре: **«Луна-16»**, **«Аполлон-11»**, **«Хаябуса-2»**, **OSIRIS-REx**.

Часть 1. Для каждого утверждения отметь все миссии, для которых оно верно (в строке может не быть ни одной галочки).

1. Проба взята с Луны.
2. Пробу доставил на Землю автомат, без людей.
3. Проба взята с астероида.
4. Аппарат запущен Советским Союзом.
5. Проба оказалась на Земле раньше 1975 года.
6. Проба взята с кометы.
7. Проба взята с Марса.

Часть 2. Расставь четыре миссии по дате, когда проба **оказалась на Земле**, от ранней к поздней.

Дано: 4 миссии, 7 утверждений.

Найти: таблицу галочек и порядок по дате доставки.

Решение

Шаг 1. Соберём карточку каждой миссии (всё это есть в первых строках статей Википедии):

Таблица 1.8

Миссия	Страна	Откуда проба	Кто взял	Проба на Земле
«Луна-16»	СССР	Луна, Море Изобилия	автомат	сентябрь 1970
«Аполлон-11»	США	Луна	астронавты	июль 1969
«Хаябуса-2»	Япония	астероид Рюгу	автомат	декабрь 2020
OSIRIS-REx	США	астероид Бенну	автомат	сентябрь 2023

Шаг 2. Заполним таблицу.

- Строка 1 (Луна): «Луна-16», «Аполлон-11».
- Строка 2 (автомат): «Луна-16», «Хаябуса-2», OSIRIS-REx. «Аполлон-11» не подходит: грунт собирали и везли люди.
- Строка 3 (астероид): «Хаябуса-2», OSIRIS-REx.
- Строка 4 (СССР): «Луна-16».
- Строка 5 (раньше 1975 года): «Аполлон-11» (1969) и «Луна-16» (1970).
- Строка 6 (комета): ни одной. С кометы пока привозили только пылинки из облака вокруг её ядра (американский Stardust, 2006), и его в списке нет.
- Строка 7 (Марс): ни одной. Пробу марсианского грунта на Землю пока не доставил никто.

Шаг 3. Упорядочим по дате доставки. Июль 1969 – «Аполлон-11», сентябрь 1970 – «Луна-16», декабрь 2020 – «Хаябуса-2», сентябрь 2023 – OSIRIS-REx.

Шаг 4. Почему так вышло. Самые ранние доставки – обе лунные: Луна близко, туда долететь проще всего. Астероиды – намного дальше и меньше, и пробы с них научились брать только в XXI веке.

 **Типичная ошибка.** Упорядочить по **дате запуска**, а не доставки. Для «Хаябусы-2» это даёт 2014 год вместо 2020-го – на шесть лет раньше. Здесь порядок случайно не меняется, но в другой задаче может поменяться: аппарат, запущенный раньше, может вернуться позже. И не ставь «Хаябусу» в строку 6: астероид и комета – разные тела (астероид – каменное тело без хвоста, комета – ледяное, с хвостом у Солнца).

Ответ: Часть 1: 1 – «Луна-16», «Аполлон-11»; 2 – «Луна-16», «Хаябуса-2», OSIRIS-REx; 3 – «Хаябуса-2», OSIRIS-REx; 4 – «Луна-16»; 5 – «Аполлон-11», «Луна-16»; 6 – ни одной; 7 – ни одной. Часть 2: «Аполлон-11», «Луна-16», «Хаябуса-2», OSIRIS-REx.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Забираем пробу грунта»

Реши сам

1.16.* Для каждого утверждения отметь все подходящие аппараты: «Вояджер-2», «Луна-16», «Хаябуса-2», «Венера-7», «Гюйгенс». В строке может не быть ни одной галочки.

1. Аппарат запущен Советским Союзом.
2. Доставил на Землю вещество другого небесного тела.
3. Совершил посадку на поверхность **планеты**.
4. Совершил посадку на спутник другой планеты (не Земли).
5. Пролетел мимо Нептуна.
6. Работал на поверхности Марса.

1.17.* Для каждого утверждения отметь все подходящие аппараты: «Луна-9», «Луна-16», «Луноход-1», «Венера-7», «Аполлон-11». В строке может не быть ни одной галочки.

1. Побывал на поверхности Луны.
2. Вернул на Землю вещество другого небесного тела.
3. На борту были люди.
4. Аппарат запущен Советским Союзом.
5. Сел на поверхность планеты.
6. Ездил по поверхности другого небесного тела.
7. Побывал на Марсе.

Затем расставь пять аппаратов по дате, когда они **оказались на поверхности** другого тела, от ранней к поздней.

Сила, движение и невесомость



Почему космонавты на МКС плавают по станции, хотя Земля тянет их почти так же сильно, как тебя в школьном коридоре? Куда поплывёт воздушный шарик, если в кабине корабля включить двигатель? Как ракета разгоняется там, где не от чего оттолкнуться? На отборе такие вопросы бывают двух видов: «подумай и выбери, что произойдёт» и короткий счёт по одной-двум формулам. Первые коварнее: ответ кажется ясным сразу, а правильный часто оказывается наоборот.

2.1. Масса, сила тяжести и вес

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 2.1 – Один и тот же мешок картошки на Земле и на Луне

Картошки в мешке столько же – это масса. А тянет его Луна в 6 раз слабее – это сила тяжести.

Масса – это «сколько вещества» в теле. Измеряют её в килограммах (кг). Мешок картошки с дачи – 30 кг и на Земле, и на Луне, и на МКС: картофеля в нём не убавилось. Ещё масса говорит, насколько тело трудно разогнать или остановить. Пустые санки сдвинешь одним пальцем, а санки с младшим братом – уже с усилием.

Сила – это то, что толкает или тянет тело: меняет его скорость или сжимает, растягивает. Силу измеряют в **ньютонах** (Н). Чтобы почувствовать 1 ньютон, положи на ладонь яблоко массой 100 г: примерно с такой силой оно давит на руку.

Сила тяжести – сила, с которой Земля (или другая планета) притягивает тело. Она направлена вниз, к центру планеты, и считается так:

$$F = m \cdot g,$$

где m – масса в килограммах, а g – **ускорение свободного падения**. У поверхности Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Что значит это число, разберём в разделе 2.2, а пока запомни: на каждый килограмм массы Земля тянет с силой 9,8 Н.

Пример. Тот самый мешок картошки: $F = 30 \cdot 9,8 = 294 \text{ Н}$. Космонавт массой 70 кг: $F = 70 \cdot 9,8 = 686 \text{ Н}$.

На других планетах g другое: на Луне примерно в 6 раз меньше, на Марсе – примерно в 2,6 раза меньше. Если такое число нужно в задаче, его дают в условии.

Вес – это сила, с которой тело **давит на опору** (стол, пол, кресло) или **тянет подвес** (нитку, крючок). Вес тоже измеряют в ньютонах. Это не то же самое, что сила тяжести: сила тяжести

приложена к телу и тянет его вниз, а вес приложен к опоре. Когда ящик спокойно лежит на столе, стол давит на ящик вверх (эта сила называется **силой опоры** N), ящик давит на стол вниз (это вес P), и все три силы равны: $N = P = m \cdot g$.

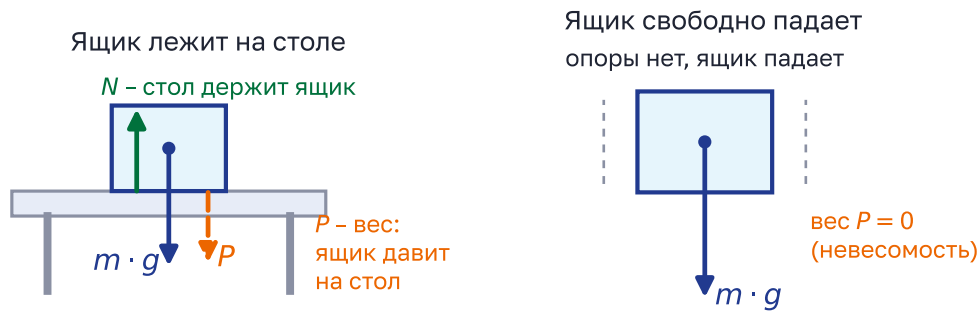


Рисунок 2.2 – Силы, когда ящик лежит на столе и когда он свободно падает. Сила тяжести есть в обоих случаях, а вес – только когда есть опора

А если стол выдернуть? Ящик полетит вниз, опоры нет – давить не на что. Сила тяжести осталась прежней, а **вес стал равен нулю**. Такое состояние называют невесомостью, к нему вернёмся в разделе 2.4.

Весы в магазине на самом деле измеряют вес – силу, с которой на них давят. Но показывают килограммы: весы делят силу на 9,8. На Земле, в покое, это и есть масса. На Луне те же весы сокрут – покажут примерно в 6 раз меньше.

Запомни. Масса в килограммах от планеты не зависит. Сила – всегда в ньютонах: притяжение $F = m \cdot g$, у Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Вес – тоже сила, это давление на опору; убрали опору – вес пропал, а притяжение осталось. Весы показывают не массу, а вес, делённый на 9,8, – поэтому на Луне они «врут».

2.2. Скорость и ускорение

НА ПАЛЬЦАХ

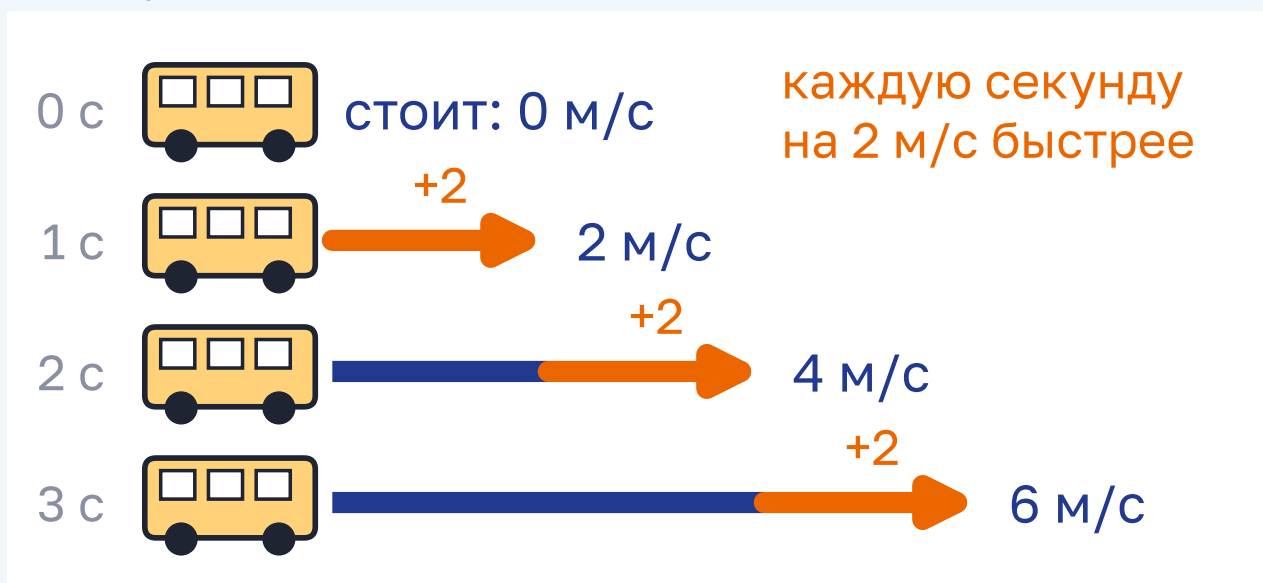


Рисунок 2.3 – Школьный автобус трогается от остановки

Каждую секунду автобус едет на 2 м/с быстрее. Эта прибавка за секунду и есть ускорение.

Скорость – какой путь тело проходит за единицу времени, например за секунду или за час. Автобус проехал за час 60 км – его скорость 60 км/ч. Формулой:

$$v = \frac{s}{t},$$

где s – путь, t – время. Если s в метрах, а t в секундах, скорость получится в м/с; километры и секунды дают км/с. Отсюда же $s = v \cdot t$ и $t = s/v$.

Скорость говорит, как быстро ты едешь. **Ускорение** говорит, как быстро меняется сама скорость: на сколько м/с она вырастает (или падает) за каждую секунду.

$$a = \frac{\Delta v}{t},$$

где Δv («дельта вз») – изменение скорости: конечная скорость минус начальная, t – за сколько секунд это произошло. Единица ускорения – м/с² («метр в секунду за секунду»).

Пример. Ракета за 10 с разогналась с 0 до 200 м/с. Скорость выросла на $\Delta v = 200 - 0 = 200$ м/с, ускорение $a = 200/10 = 20$ м/с²: каждую секунду скорость прибавляет 20 м/с.

Теперь понятно, что такое $g = 9,8$ м/с². Если бросить камень и не мешать ему (не считаем воздух), его скорость каждую секунду вырастает на 9,8 м/с: через 1 с – 9,8 м/с, через 2 с – 19,6 м/с, через 3 с – 29,4 м/с. Такое падение, когда на тело действует только сила тяжести, называют **свободным падением**. Камень, подброшенный вверх, тоже падает свободно: пока летит вверх, каждую секунду теряет 9,8 м/с скорости, а потом так же набирает её вниз.

Совет. Если скорость меняется равномерно (каждую секунду на одно и то же число), то **средняя скорость** равна половине суммы начальной и конечной: $v_{\text{ср}} = (v_{\text{нач}} + v_{\text{кон}}) / 2$. Путь тогда $s = v_{\text{ср}} \cdot t$. Например, камень падал 2 с и разогнался от 0 до 19,6 м/с: средняя скорость 9,8 м/с, путь $9,8 \cdot 2 = 19,6$ м.

Запомни. «Метры в секунду» (м/с) – это про скорость, «метры в секунду за секунду» (м/с²) – про то, как быстро она меняется. Путь делим на время – получаем скорость. Прибавку скорости делим на время – получаем ускорение. Падающий камень каждую секунду прибавляет 9,8 м/с.

2.3. Инерция, законы Ньютона и реактивное движение

НА ПАЛЬЦАХ

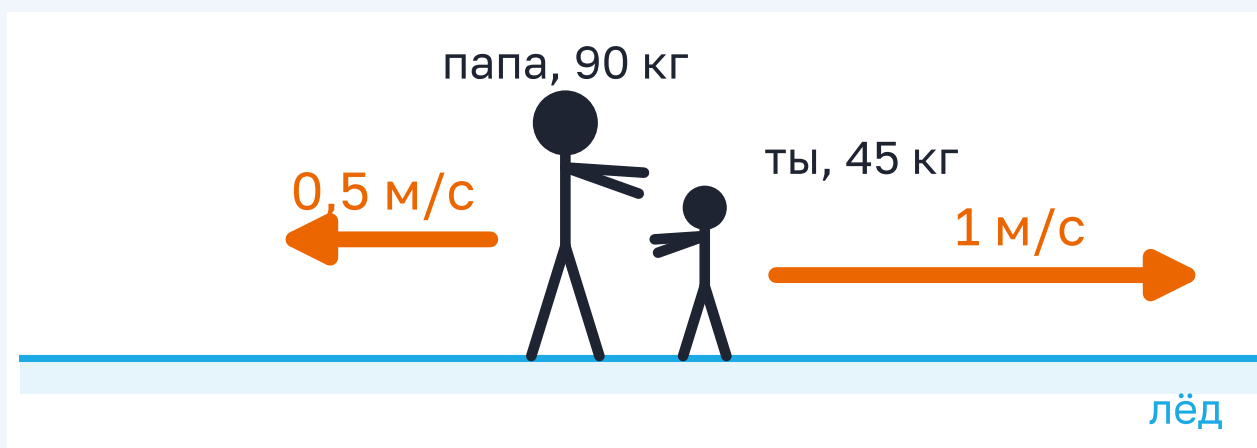


Рисунок 2.4 – Толчок на катке: папа и ты разъезжаетесь в разные стороны

Толкнул папу – и сам покатился назад. Ты вдвое легче, поэтому едешь вдвое быстрее.

Инерция – свойство тел сохранять свою скорость. Сама по себе скорость не меняется: чтобы разогнать, затормозить или повернуть тело, нужна сила. Больше трёхсот лет назад англичанин Исаак Ньютон уложил это в три закона. Вот они своими словами.

Первый закон (закон инерции). Если силы на тело не действуют или уравновешивают друг друга, тело стоит на месте или летит прямо с той же скоростью. Автобус резко тормозит – тебя бросает вперёд: никто тебя не толкал, просто ты продолжаешь ехать, а автобус под тобой останавливается. Космический зонд, выключив двигатели, летит дальше миллионы километров – в пустоте его ничто не тормозит.

Второй закон. Чем больше сила, тем больше ускорение; чем больше масса, тем меньше ускорение:

$$a = \frac{F}{m}.$$

Одной и той же силой пустую тележку в магазине разогнать легко, а гружёную – трудно. Теперь вспомни про силу тяжести. Камень вдвое тяжелее – Земля тянет его вдвое сильнее, но и разогнать его вдвое труднее. Одно гасит другое, и ускорение у всех тел выходит одно и то же – g . Поэтому без воздуха все тела падают **одинаково быстро**, тяжёлые и лёгкие. В 1971 году астронавт экспедиции «Аполлон-15» проверил это на Луне: разжал руки с молотком и птичьим пером, и они упали на грунт в один и тот же миг.

Третий закон. Тела действуют друг на друга с равными силами в противоположные стороны. Ты толкаешь стену – стена толкает тебя. На катке оттолкнись от бортика – и сам поедешь назад. Космонавт в невесомости отталкивает от себя ящик – и сам плывёт в другую сторону.

Кто при таком толчке получит большую скорость? Силы равны, действуют одинаковое время, а ускорение $a = F/m$ больше у того, у кого масса меньше. Выходит, **скорости обратно пропорциональны массам**: во сколько раз масса больше, во столько раз скорость меньше. Это удобно записать так: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$. Космонавт массой 100 кг (со скафандром) толкнул ящик массой 20 кг, и ящик поплыл со скоростью 1 м/с. Масса космонавта в 5 раз больше – его скорость в 5 раз меньше: $20 \cdot 1 / 100 = 0,2$ м/с.

Реактивное движение – это третий закон в работе. Ракета с огромной силой выбрасывает назад горячий газ, который получается при сгорании топлива. Раз ракета толкает газ назад, газ толкает ракету вперёд. Опирается на воздух или на землю не нужно, поэтому ракета разгоняется и в пустоте космоса. Так же летит надутый воздушный шарик, если отпустить его, не завязав.



Рисунок 2.5 – Реактивное движение: ракета толкает газ назад, газ толкает ракету вперёд

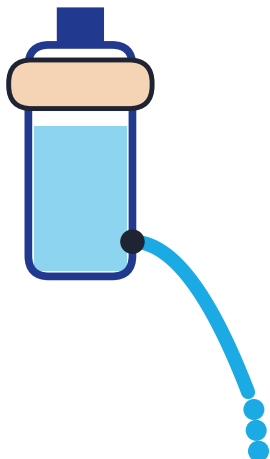
Соппротивление воздуха – сила, с которой воздух мешает движению. Она всегда направлена **против скорости** и растёт, когда тело движется быстрее и когда оно больше «в ширину». Поэтому лист бумаги падает медленно, а скомканный в шарик – быстро. Снежинка кружит и опускается еле-еле, а сосулька с крыши летит вниз камнем (весной под крышами не ходи). На Луне воздуха нет, и сопротивления нет: там перо падает как молоток.

Запомни. Хочешь изменить скорость – нужна сила, и чем больше масса, тем больше силы: $a = F/m$. Толкнул – получил сдачи той же силой; после толчка лёгкий едет быстрее тяжёлого: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$. Ракета отталкивается от собственного газа, воздух ей не нужен. Воздух тормозит всё, что движется, – на Луне тормозить некому.

2.4. Невесомость – это свободное падение

НА ПАЛЬЦАХ

Держишь – льётся



Бросил – не льётся



бутылка и вода
падают вместе

Рисунок 2.6 – Бутылка с дыркой у дна: в руке вода льётся, в полёте – нет

Бутылка и вода падают вместе: вода не давит на дно и не выливается. Вот она, невесомость, – прямо у тебя в руках.

Невесомость – состояние, когда тело не давит на опору, то есть его вес равен нулю. Так бывает, когда на тело действует только сила тяжести и тело свободно падает – **вместе со всем, что вокруг**.

Проверь сам – на улице или над ванной. Попроси взрослого проколоть шилом дырку у дна пластиковой бутылки и налей воды: из дырки бьёт струйка. Теперь подбрось бутылку. Пока она летит, струйка пропадает: вода и бутылка падают вместе, и воде незачем выдавливаться в дырку. Поймал – потекло снова. Кусочек невесомости ты знаешь и по батуту: пока летишь, «замирает живот».

Представь лифт, у которого оборвался трос (в настоящих лифтах от этого есть ловители, так что это мысленный опыт). Лифт, ты и весы под твоими ногами падаете с одинаковым ускорением g . Весы «убегают» из-под ног с той же скоростью, с какой ты падаешь на них, – давить не получается, весы показывают ноль. Выпущенное из руки яблоко висит рядом с тобой: оно тоже падает, и так же быстро. Сила тяжести никуда не делась – пропал только вес.

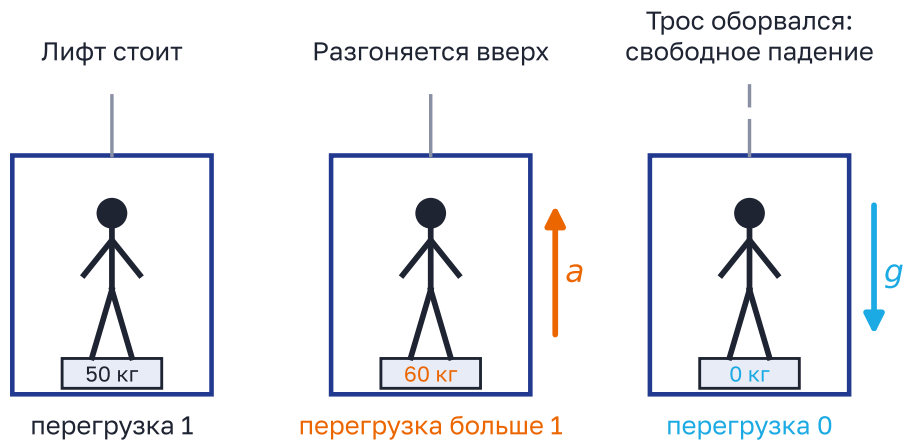


Рисунок 2.7 – Лифт и весы: в покое, при разгоне вверх и в свободном падении

Почему на МКС невесомость

Многие думают, что на МКС «нет силы тяжести». Ещё как есть! Сила тяжести слабеет с расстоянием от **центра** Земли: если расстояние стало в 2 раза больше – сила в $2 \cdot 2 = 4$ раза меньше, в 3 раза больше – в $3 \cdot 3 = 9$ раз меньше. МКС летает на высоте около 400–420 км, а радиус Земли 6371 км. До центра Земли там всего на 6–7 % дальше, чем у поверхности, и сила тяжести составляет около 88–89 % земной – **почти 90 %**.

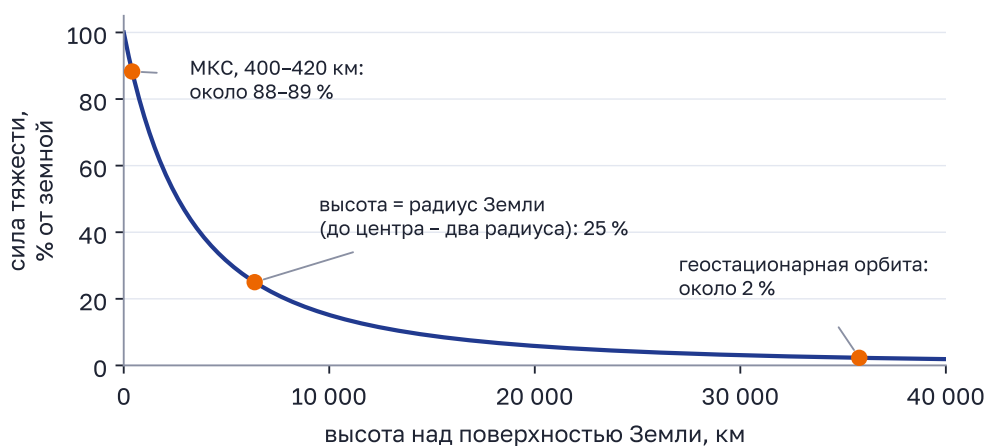


Рисунок 2.8 – Как сила тяжести зависит от высоты над Землёй

Почему же космонавты плавают? Потому что станция вместе с ними **всё время падает** на Землю – но никак не может упасть. Ещё Ньютон придумал такой мысленный опыт. Поставим на очень высокой горе пушку (выше воздуха, чтобы он не мешал) и выстрелим горизонтально. Ядро полетит по дуге и упадёт. Выстрелим быстрее – упадёт дальше. Но Земля круглая, её поверхность «загибается» вниз. При скорости около **7,9 км/с** ядро за каждую секунду опускается ровно настолько, насколько под ним уходит вниз поверхность Земли. Ядро падает, падает – и облетает Землю по кругу. Это и есть орбита. Скорость, нужная для такого полёта у самой поверхности, называется **первой космической скоростью** (как её считать – в главе 4).

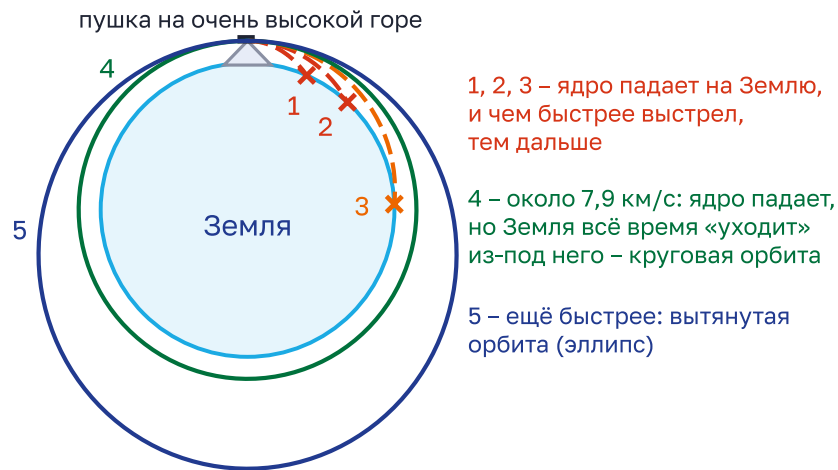


Рисунок 2.9 – Пушка Ньютона: чем быстрее выстрел, тем дальше падает ядро, а при скорости около 7,9 км/с оно облетает Землю

МКС летит со скоростью около 7,66 км/с – это её «выстрел вбок». Станция, космонавты, ложки и капли воды в ней падают одинаково, как ты и весы в лифте. Поэтому всё внутри плавает. На МКС невесомость почти полная, но не идеальная: там тоже есть очень разреженный воздух, он чуть-чуть тормозит станцию.

Невесомость на Земле: параболический полёт

Невесомость можно устроить и на Земле – ненадолго. Космонавтов тренируют в самолёте-лаборатории (в России это Ил-76МДК), который летает «горками». Самолёт разгоняется, круто задирает нос и идёт вверх – в это время людей вжимает в пол с перегрузкой до 2 (что это такое – в разделе 2.5). Потом пилоты уменьшают тягу двигателей так, чтобы она только компенсировала сопротивление воздуха. Самолёт летит так, как летел бы брошенный камень: сначала вверх, потом вниз, по кривой, которая называется **параболой**. Все внутри падают вместе с самолётом – невесомость. На Ил-76МДК она длится около 25 секунд. Затем самолёт выходит из снижения (снова перегрузка до 2), и всё повторяется. За полёт бывает много таких горок.

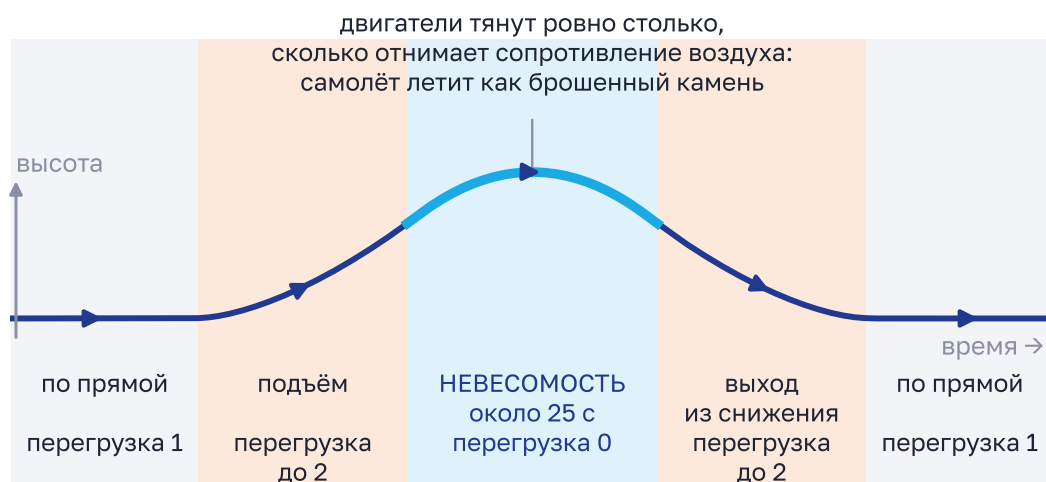


Рисунок 2.10 – Профиль параболического полёта: подъём, невесомость, выход из снижения

Время невесомости можно посчитать. Пока самолёт летит по параболе, его **вертикальная** скорость (вверх-вниз) меняется на 9,8 м/с за секунду, как у камня. Если самолёт вошёл в параболу, поднимаясь со скоростью 100 м/с, то через $100/9,8 \approx 10,2$ с он окажется на вершине горки (вертикальная скорость 0), а ещё через 10,2 с будет лететь вниз со скоростью 100 м/с. Невесомость – примерно 20,4 с. Горизонтальная скорость на это время не влияет: сила тяжести тянет только вниз и меняет только вертикальную скорость.

Когда невесомость неполная: сопротивление воздуха

В самолёте двигатели «съедают» сопротивление воздуха. А если двигателя нет? Представь большой прозрачный шар с человеком внутри, который летит в воздухе по дуге. На шар действуют сила тяжести и сопротивление воздуха – оно тормозит шар, направлено против его скорости. На человека внутри действует только сила тяжести: воздух внутри шара летит вместе с ним, никакого «встречного ветра» человек не чувствует. Значит, шар тормозит чуть сильнее, чем человек. Человек по инерции немного обгоняет шар и **прижимается к передней по ходу движения стенке** – как ты в автобусе, который тормозит.

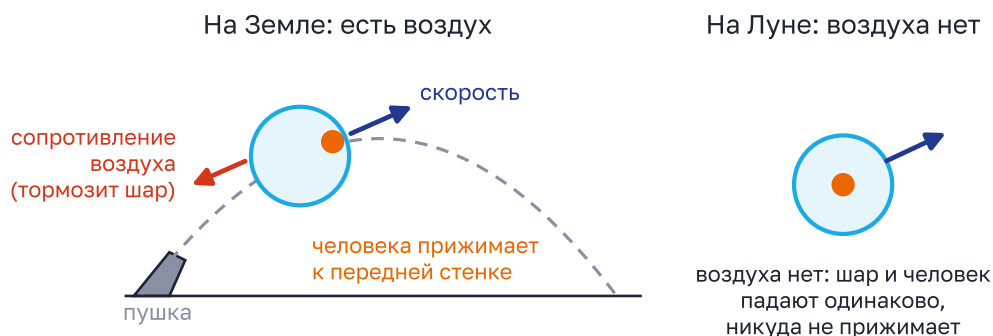


Рисунок 2.11 – Шар в полёте: на Земле воздух тормозит шар, и человека прижимает к передней стенке; на Луне – полная невесомость

На Луне воздуха нет. Шар и человек падают совершенно одинаково, и никуда никого не прижимает – невесомость полная.

Предметы в кабине, когда включают двигатель

Корабль летит по орбите, в кабине невесомость. Гелиевый воздушный шарик и яблоко висят посреди кабины: на Земле шарик рвался бы вверх, но в невесомости у него нет «верха», и он остаётся там, где его отпустили. Теперь включаем двигатель на задней стенке: газ вылетает назад, кабина начинает ускоряться вперёд. Что станет с предметами?

Яблоко (и любой незакреплённый предмет тяжелее воздуха) по инерции остаётся на месте. А кабина разгоняется вперёд, и задняя стенка «налетает» на яблоко. Изнутри кабины кажется, что яблоко полетело назад.

Воздух в кабине тоже по инерции отстаёт: задняя стенка толкает его, и он немного прижимается к ней. Сзади воздух становится чуть плотнее, давление там чуть больше, чем спереди. Гелиевый шарик гораздо легче воздуха, и воздух выталкивает его туда, где давление меньше, – **вперёд**, в сторону ускорения. На Земле всё устроено так же: там сила тяжести прижимает воздух к земле, давление внизу больше, и шарик всплывает вверх – против тяжести.

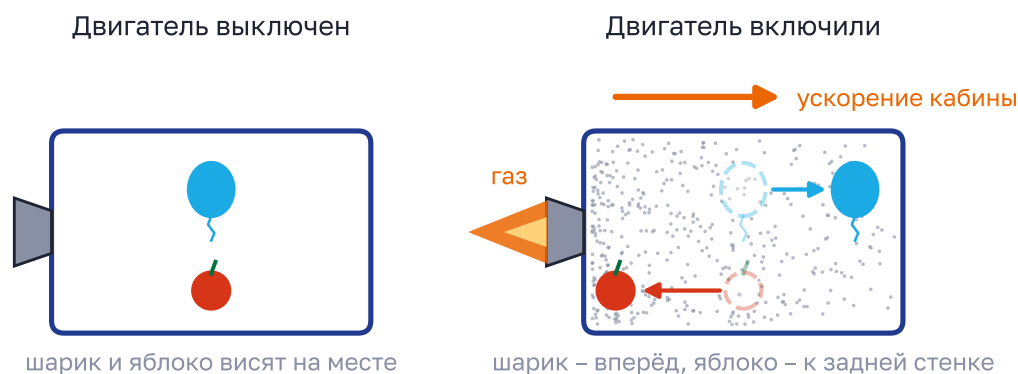


Рисунок 2.12 – Кабина до и после включения двигателя: гелиевый шарик плывёт вперёд, яблоко – к задней стенке

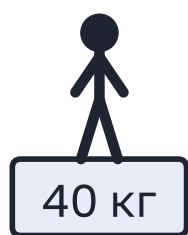
Если одновременно включить два одинаковых двигателя на противоположных стенках, их силы уравновесятся: кабина не ускоряется, и шарик никуда не движется.

Запомни. Спросят «почему невесомость» – отвечай «потому что всё падает вместе», а не «потому что нет тяжести»: на МКС Земля тянет почти на 90 %. Воздух тормозит корпус, а человека внутри – нет: человека прижимает к передней стенке. В разгоняющейся кабине тяжёлое отстаёт к задней стенке, а гелиевый шарик уходит вперёд, туда, куда ускоряется кабина.

2.5. Перегрузка

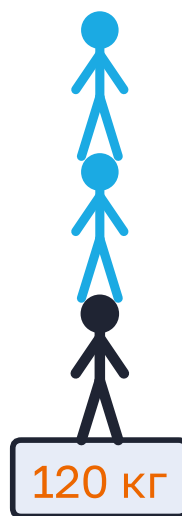
НА ПАЛЬЦАХ

Стоишь спокойно



перегрузка 1

Перегрузка 3



давит, как будто сверху
стоят ещё двое таких же



ракета
разгоняется

Рисунок 2.13 – Перегрузка 3: весы под тобой показывают втрое больше

Перегрузка – во сколько раз сильнее обычного тебя прижимает к полу. Перегрузка 3 – будто на плечах стоят ещё двое.

Перегрузка n показывает, во сколько раз вес тела сейчас больше, чем обычный вес в покое на Земле:

$$n = \frac{P}{m \cdot g}.$$

В покое $n = 1$. В невесомости $n = 0$. При $n = 3$ школьник массой 40 кг давит на кресло так, как обычно давил бы взрослый в 120 кг. Слабую перегрузку ты чувствовал сам: лифт в многоэтажке трогается вверх, и на секунду ноги «тяжелеют». Иногда перегрузку записывают как «3g» (читается «три же»).

Посчитаем перегрузку, когда ракета (или лифт) **разгоняется вверх** с ускорением a . Кресло тут трудится за двоих: держит космонавта, чтобы он не падал, – на это уходит обычная сила $m \cdot g$, и ещё разгоняет его вверх вместе с ракетой – по второму закону на это нужна добавка $m \cdot a$. Всего кресло давит на космонавта с силой $m \cdot g + m \cdot a$, и с такой же силой космонавт давит на кресло: $P = m \cdot (g + a)$.

Во сколько раз это больше обычного веса $m \cdot g$? Слагаемое $m \cdot g$ – это один обычный вес, а $m \cdot a$ – ещё a/g таких весов: во столько раз a больше g . Итого

$$n = \frac{a}{g} + 1.$$

Масса сюда не входит: перегрузка одна и та же у лёгкого и у тяжёлого. Пример: ракета разгоняется с ускорением $a = 9,8 \text{ м/с}^2$, тогда $n = 9,8/9,8 + 1 = 2$.

Так же считают перегрузку, когда спускаемый аппарат или лифт **тормозит, двигаясь вниз**: при этом ускорение направлено вверх (скорость вниз уменьшается), и $n = a/g + 1$.

Если же ускорение направлено **вниз** (лифт начинает спускаться), опора «уходит» из-под ног, и давишь ты на неё слабее: $P = m \cdot (g - a)$ и $n = 1 - a/g$. При $a = g$ получаем $n = 0$ – свободное падение, невесомость.

Запомни. Перегрузка – это «во сколько раз тяжелее, чем обычно». Ускорение вверх: $n = a/g + 1$, и единица здесь – та самая обычная тяжесть, без неё ответ неверный. Ускорение вниз: $n = 1 - a/g$. Свободное падение: $n = 0$.

Совет. Прежде чем подставлять числа, нарисуй стрелку ускорения. Ускорение вверх – к единице прибавляем a/g , вниз – вычитаем. Куда при этом движется тело, не важно: важно, куда направлено ускорение.

2.6. Разбираем задачи

Задача 2.1 Ровер на Луне

разминка · масса и вес, сила тяжести

Исследовательский ровер имеет массу 120 кг. Найди силу тяжести, действующую на ровер на Земле и на Луне. Ускорение свободного падения на Луне $g_{\text{Л}} = 1,62 \text{ м/с}^2$. Какой будет масса ровера на Луне? Силы – в ньютонах, округли до целых.

Дано: $m = 120 \text{ кг}$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $g_{\text{Л}} = 1,62 \text{ м/с}^2$.

Найти: $F_{\text{З}}$, $F_{\text{Л}}$ – ?, масса на Луне – ?

Решение

Шаг 1. Сила тяжести на Земле. $F_{\text{З}} = m \cdot g = 120 \cdot 9,8 = 1176 \text{ Н}$.

Шаг 2. Сила тяжести на Луне. Масса та же, меняется только g : $F_{\text{Л}} = 120 \cdot 1,62 = 194,4 \text{ Н} \approx 194 \text{ Н}$.

Шаг 3. Масса на Луне. Масса – это количество вещества, от планеты она не зависит: 120 кг.

Сверим с разделом 2.1. $1176/194,4 \approx 6$ – Луна тянет ровер примерно в 6 раз слабее Земли, как там и говорилось.

⚠ Типичная ошибка. Сказать, что на Луне масса ровера «20 кг». Меньше стала сила тяжести (и вес), а масса осталась 120 кг. Вторая ошибка – ответить в килограммах там, где спрашивают силу: сила – в ньютонах.

Ответ: на Земле 1176 Н, на Луне 194 Н; масса на Луне – те же 120 кг.

Реши сам

2.1. Прибор для спутника имеет массу 3,5 кг. С какой силой Земля притягивает его у поверхности? Ответ в ньютонах, до десятых.

2.2. Космонавт в скафандре встал на напольные пружинные весы на Земле, и они показали 180 кг. Весы измеряют силу, с которой на них давят, и переводят её в килограммы, деля на 9,8. Что покажут эти же весы на Луне ($g_{\text{Л}} = 1,62 \text{ м/с}^2$)? Ответ в килограммах, до десятых.

Задача 2.2 Перегрузка на старте

ускорение, перегрузка

Ракета стартует вертикально вверх и за первые 8 секунд разгоняется с 0 до 120 м/с (считай, что скорость растёт равномерно). Найди: а) ускорение ракеты; б) перегрузку, которую испытывает космонавт (округли до десятых); в) с какой силой давит на кресло космонавт массой 75 кг (в ньютонах).

Дано: $v_{\text{нач}} = 0$; $v_{\text{кон}} = 120 \text{ м/с}$; $t = 8 \text{ с}$; $m = 75 \text{ кг}$; $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Найти: a , n , P – ?

Решение

Шаг 1. Ускорение. Скорость выросла на $\Delta v = 120 - 0 = 120 \text{ м/с}$ за 8 с:
 $a = \Delta v / t = 120 / 8 = 15 \text{ м/с}^2$.

Шаг 2. Куда направлено ускорение. Ракета разгоняется вверх – ускорение вверх. Значит,
 $n = a / g + 1$.

Шаг 3. Перегрузка. $n = 15 / 9,8 + 1 = 1,53 + 1 = 2,53 \approx 2,5$.

Шаг 4. Сила давления на кресло. $P = m \cdot (g + a) = 75 \cdot (9,8 + 15) = 75 \cdot 24,8 = 1860 \text{ Н}$.
 Проверим через перегрузку: обычный вес $75 \cdot 9,8 = 735 \text{ Н}$, и $1860 / 735 = 2,53$ – сходится.

Много это или мало? Перегрузка 2,5 – будто на плечах у космонавта сидят ещё полтора таких же космонавта. На старте ракеты так и бывает, тренированный человек переносит это спокойно.

⚠ Самая частая ошибка – посчитать $n = a / g = 15 / 9,8 \approx 1,5$ и забыть прибавить единицу. Кресло не только разгоняет космонавта, но и держит его против силы тяжести – отсюда и «+1». Проверь себя на ракете, которая ещё стоит на старте ($a = 0$): перегрузка должна выйти 1, а не 0.

Ответ: а) 15 м/с²; б) 2,5; в) 1860 Н.

Реши сам

2.3. Ракета за 12 секунд после старта набрала скорость 150 м/с. Найди её ускорение (скорость росла равномерно). Ответ в м/с².

2.4. Ракета стартует вертикально с ускорением 19,6 м/с². С какой силой космонавт массой 60 кг давит на кресло? Ответ в ньютонах.

2.5. Лифт начинает спускаться: разгоняется вниз с ускорением 1,96 м/с². Что покажут напольные весы под человеком массой 50 кг (весы делят силу давления на 9,8)? Ответ в килограммах.

Задача 2.3 Горка самолёта-лаборатории

свободное падение, невесомость, параболический полёт

Самолёт-лаборатория переходит к параболе: пилоты убирают тягу так, чтобы она только компенсировала сопротивление воздуха. В этот момент самолёт поднимается со скоростью 110 м/с (вертикальная часть скорости), а вперёд летит со скоростью 160 м/с. Невесомость заканчивается, когда самолёт начинает снижаться со скоростью 110 м/с. а) Сколько секунд длится невесомость? Округли до десятых. б) На сколько метров самолёт поднимется над точкой входа в параболу? Округли до целых.

Дано: $v_{\text{верт}} = 110$ м/с вверх в начале и 110 м/с вниз в конце; горизонтальная скорость 160 м/с; $g = 9,8$ м/с².

Найти: t – ?, h – ?

Решение

Шаг 1. Что происходит. На параболе самолёт летит как брошенный камень: действует только сила тяжести (тяга «съедает» сопротивление воздуха). Сила тяжести тянет вниз, поэтому меняется только **вертикальная** скорость – на 9,8 м/с каждую секунду. Горизонтальная скорость 160 м/с в задаче лишняя: на время невесомости она не влияет.

Шаг 2. Подъём до вершины. Вертикальная скорость падает от 110 м/с до 0:

$$t_1 = 110/9,8 = 11,224 \text{ с.}$$

Шаг 3. Спуск. От вершины вертикальная скорость растёт от 0 до 110 м/с вниз – столько же времени, 11,224 с. Всего невесомость: $t = 11,224 + 11,224 = 22,448 \text{ с} \approx 22,4 \text{ с.}$

Шаг 4. Высота подъёма. Пока самолёт поднимается, вертикальная скорость равномерно уменьшается от 110 до 0 м/с. Средняя вертикальная скорость $v_{\text{ср}} = (110 + 0)/2 = 55$ м/с. Высота $h = v_{\text{ср}} \cdot t_1 = 55 \cdot 11,224 = 617,3 \text{ м} \approx 617 \text{ м.}$

У настоящего Ил-76МДК невесомость длится около 25 с, у нас вышло 22 – близко. И подъём на 600 м самолёту, который летает на высоте нескольких километров, вполне по силам.

❗ **Типичная ошибка.** Многие считают только подъём ($110/9,8 = 11,2$ с) и забывают, что после вершины невесомость не кончается: самолёт летит вниз, а внутри всё по-прежнему плавают. Кого-то сбивает горизонтальная скорость 160 м/с – её не нужно ни складывать, ни «как-то учитывать». А в пункте б) рука тянется умножить 110 м/с на 11,224 с (получится около 1235 м), но скорость всё время уменьшалась, брать нужно среднюю.

Ответ: а) 22,4 с; б) 617 м.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Невесомость на самолёте»

Реши сам

2.6. Самолёт-лаборатория входит в параболу, поднимаясь со скоростью 98 м/с (вертикальная часть скорости), и выходит из неё, снижаясь с той же скоростью. Сколько секунд длится невесомость?

2.7. Конструкторы хотят, чтобы невесомость на горке длилась 25 секунд. С какой вертикальной скоростью (в м/с) самолёт должен подниматься в момент входа в параболу? Округли до десятых.

2.8.* На Луне ($g_{\text{Л}} = 1,62$ м/с²) космонавт уронил молоток с высоты 1,6 м. Сколько секунд молоток падал до грунта? Округли до десятых. Подсказка: конечная скорость равна $g_{\text{Л}} \cdot t$, а средняя – половине конечной.

Задача 2.4 Полёт в шаре

невесомость, сопротивление воздуха, инерция

Изобретатель предложил тренировать космонавтов так: человека сажают в большой прозрачный шар и выстреливают им из пушки, а в конце полёта шар ловит натянутая сеть. Пока шар летит, человек должен быть в невесомости. Но на испытаниях выяснилось, что невесомость неполная: человека слегка прижимает к одной из стенок шара. Шар не вращается. К какой стенке прижимает человека?

А) к задней по ходу движения; Б) к передней по ходу движения; В) к нижней, ближней к Земле; Г) к верхней; Д) ни к какой.

Какой ответ будет верным, если провести такой же опыт на Луне?

Дано: шар летит в воздухе по дуге, не вращается; на Луне воздуха нет.

Найти: к какой стенке прижмёт человека на Земле и на Луне.

Решение

Шаг 1. Силы на шар и на человека. На шар действуют сила тяжести и сопротивление воздуха – оно направлено против скорости шара и тормозит его. На человека действует только сила тяжести: воздух внутри шара летит вместе с ним, «встречного ветра» внутри нет.

Шаг 2. Представим, что воздуха нет. Тогда и на шар, и на человека действует только сила тяжести. Оба падают одинаково (с ускорением g), и человек висит внутри шара, ни к чему не прижимаясь. Значит, сила тяжести сама по себе ни к какой стенке не прижимает – вариант В неверен.

Шаг 3. Добавим воздух. Сопротивление воздуха тормозит шар, а человека – нет. Шар немного отстаёт, а человек по инерции продолжает лететь с прежней скоростью и «догоняет» переднюю стенку. Это как в автобусе: автобус тормозит – тебя бросает вперёд.

Шаг 4. Луна. На Луне воздуха нет, тормозить шар нечему. Шар и человек падают одинаково – полная невесомость, никуда не прижимает.

Сравни с самолётом-лабораторией. Там невесомость полная, потому что двигатели «съедают» сопротивление воздуха. У шара двигателя нет – вот человека и прижимает.

 **Типичная ошибка** – ответ «к нижней стенке, ведь тяжесть тянет вниз». Тяжесть тянет вниз и человека, и шар – они падают вместе. Прижимает не тяжесть, а разница между ними, а она возникает только из-за воздуха.

Ответ: на Земле – Б (к передней по ходу движения стенке); на Луне – Д (никуда не прижимает).

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Тренировки в невесомости»

Реши сам

2.9. Шар с человеком из разобранный задачи 2.4 сбросили на Земле с вертолётa, который неподвижно висит над полем. Шар падает вертикально вниз и уже набрал большую скорость. К какой стенке прижимает человека? А) к верхней; Б) к нижней; В) ни к какой; Г) к боковой.

2.10.* Шар с человеком из разобранный задачи 2.4 выстрелили на Земле **вертикально вверх**. Шар поднимается, останавливается и падает обратно. К какой стенке прижимает человека? А) всё время к верхней; Б) всё время к нижней; В) пока шар летит вверх – к верхней, пока падает – к нижней; Г) пока летит вверх – к нижней, пока падает – к верхней; Д) ни к какой.

Задача 2.5 Шарик на орбитальной станции

невесомость, инерция, ускорение кабины

На орбитальной станции в центре кабины висит воздушный шарик с гелием. Воздух в кабине неподвижен. У кабины четыре одинаковых двигателя: Л на левой стенке, П на правой, В на верхней, Н на нижней; сопла всех двигателей смотрят наружу (рисунок). Сопоставь, какие двигатели включили (1–4) и куда начнёт двигаться шарик относительно кабины (А–Е).

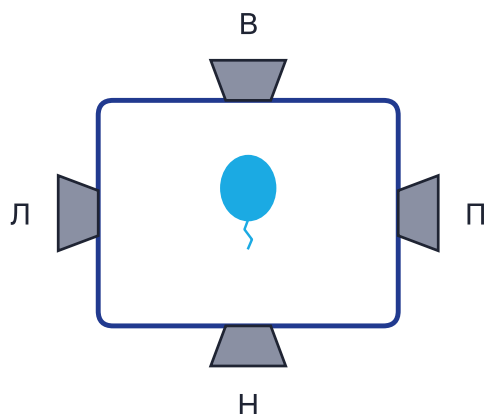


Рисунок 2.14 – Кабина станции и её двигатели. Сопла смотрят наружу

Включали: 1) только Л; 2) Л и В одновременно; 3) Л и П одновременно; 4) только Н.

А) к правой стенке; Б) в правый нижний угол; В) к верхней стенке; Г) останется на месте; Д) к левой стенке; Е) к нижней стенке.

Дано: невесомость; гелиевый шарик в центре кабины; двигатели Л, П, В, Н, сопла наружу.

Найти: направление движения шарика для каждого случая.

Решение

Шаг 1. Куда ускоряется кабина. Двигатель выбрасывает газ из сопла наружу, а газ толкает двигатель (и кабину) в обратную сторону. Двигатель Л выбрасывает газ влево – кабина ускоряется вправо. П – влево, В (газ вверх) – вниз, Н (газ вниз) – вверх.

Шаг 2. Куда движется шарик. Воздух в кабине по инерции прижимается к стенке, которая «налетает» на него сзади, – там давление чуть больше. Гелиевый шарик легче воздуха, и его выталкивает туда, где давление меньше, – **в сторону ускорения кабины**.

Шаг 3. Разбираем случаи.

1. Только Л: кабина ускоряется вправо – шарик к правой стенке (А).
2. Л и В: кабину толкает вправо и вниз одновременно – шарик в правый нижний угол (Б).
3. Л и П: одинаковые силы в разные стороны уравниваются, кабина не ускоряется – шарик на месте (Г).
4. Только Н: кабина ускоряется вверх – шарик к верхней стенке (В).

Вспомни Землю: сила тяжести «прижимает» воздух вниз, а гелиевый шарик всплывает вверх, против неё. В кабине разгон «прижимает» воздух к задней стенке – и шарик так же уплывает от неё, вперёд.

⚠ Типичная ошибка. Шарик путают с яблоком: кажется, что он тоже «отстанет» к задней стенке. Так ведёт себя предмет тяжелее воздуха, а гелиевый шарик легче и движется наоборот – вперёд, в сторону ускорения.

Ответ: 1 – А, 2 – Б, 3 – Г, 4 – В.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Воздушный шар на орбите»

Реши сам

2.11. Почему ракета может разгоняться в космосе, где нет воздуха? Выбери верный ответ. А) Она отталкивается от остатков воздуха. Б) Она с силой выбрасывает назад газ, а газ толкает её вперёд. В) Её притягивает Луна. Г) В космосе ничто не тормозит, поэтому ракета разгоняется сама.

2.12. В кабине корабля на орбите висит гелиевый шарик. Включили двигатель на **передней** стенке, его сопло смотрит вперёд. Куда начнёт двигаться шарик относительно кабины? А) к передней стенке; Б) к задней стенке; В) останется на месте; Г) к верхней стенке.

2.13.* Космонавт массой 80 кг (вместе со скафандром) висит в невесомости и отталкивает от себя ящик массой 40 кг. Ящик поплыл со скоростью 0,6 м/с. С какой скоростью поплывёт космонавт? Ответ в м/с.

Задача 2.6* Сколько «весит» космонавт на МКС

сила тяжести на высоте, невесомость на МКС

МКС летит на высоте 420 км. С какой силой Земля притягивает там космонавта массой 70 кг? Ответ в ньютонах, округли до целых. Сколько это процентов от силы тяжести у поверхности Земли (до целых)? Почему же весы на станции покажут ноль? Сила тяжести уменьшается во столько раз, во сколько раз квадрат расстояния до центра Земли стал больше.

Дано: $h = 420$ км; $R = 6371$ км; $m = 70$ кг; $g = 9,8$ м/с².

Найти: F на высоте МКС – ?, доля от земной – ?

Решение

Шаг 1. Сила тяжести у поверхности. $F_0 = m \cdot g = 70 \cdot 9,8 = 686$ Н.

Шаг 2. Расстояние до центра Земли. Считать надо от центра, а не от поверхности:
 $r = R + h = 6371 + 420 = 6791$ км.

Шаг 3. Во сколько раз дальше. $k = r/R = 6791/6371 = 1,0659$.

Шаг 4. Во сколько раз слабее. В $k^2 = 1,0659 \cdot 1,0659 = 1,1362$ раза.

Шаг 5. Сила тяжести на МКС. $F = 686/1,1362 = 603,8$ Н ≈ 604 Н.

Шаг 6. Доля от земной. $604/686 = 0,88$, то есть 88 %.

Шаг 7. Почему весы покажут ноль. Сила тяжести на станции почти такая же, как на Земле. Но станция, космонавт и весы вместе падают на Землю (летят по орбите – «падают вокруг Земли») с одинаковым ускорением. Весы «убегают» из-под ног так же быстро, как космонавт на них падает, – давить не на что, вес равен нулю.

88 % – те самые «почти 90 %» из раздела 2.4. Поставь МКС на башню высотой 420 км – и космонавт весил бы там почти как дома.

 **Типичная ошибка** – ответить «0 Н, ведь там невесомость»: невесомость – это нулевой вес, а не нулевая сила тяжести. Бывает и так: высоту делят на радиус ($420/6371$), а сравнивать надо расстояния до центра ($6791/6371$). Или всё сделали верно, но забыли возвести в квадрат – тогда выходит $686/1,0659 = 644$ Н, а это неверно.

Ответ: около 604 Н, это 88 % от силы тяжести на Земле. Весы покажут ноль, потому что станция и всё в ней свободно падают вместе.

Своя задача по программе сферы, модуль 1

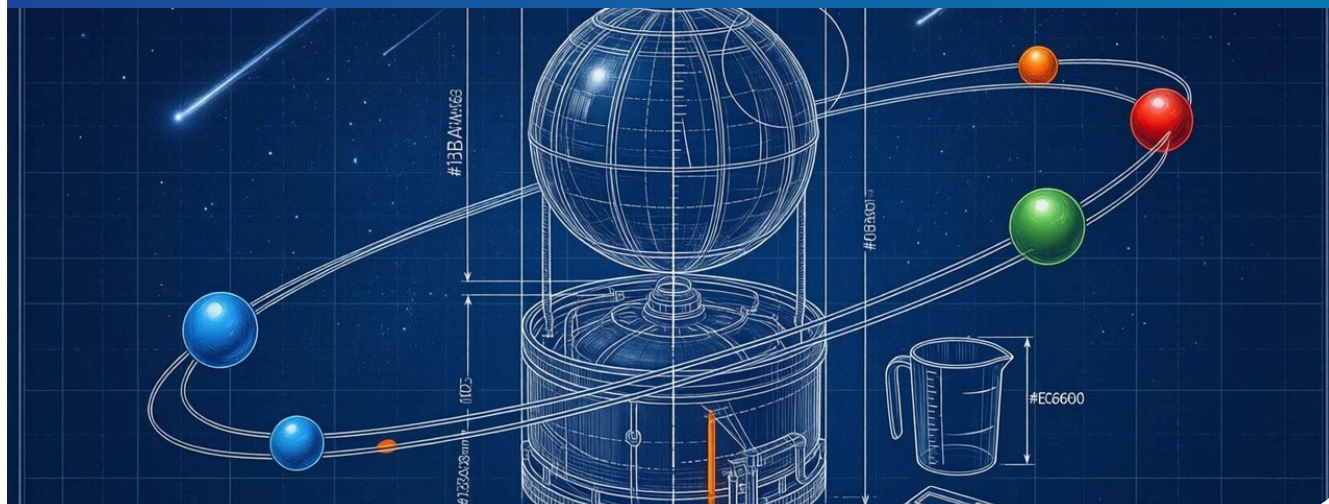
Реши сам

2.14.* Спутник связи массой 800 кг летит на высоте 1000 км. С какой силой Земля притягивает его там? Ответ в ньютонах, округли до целых. Сколько это процентов от силы тяжести у поверхности Земли (до целых)? Радиус Земли 6371 км.

2.15. Почему космонавты на МКС находятся в невесомости? Выбери верный ответ. А) На высоте МКС нет силы тяжести. Б) Станция и всё, что в ней, свободно падают вместе – «падают вокруг Земли». В) На МКС нет воздуха. Г) Притяжение Земли уравнивает притяжение Луны.

2.16. МКС летит со скоростью 7,66 км/с. За сколько секунд она пролетит над участком длиной 1150 км? Округли до целых.

Инженерная математика: единицы, объёмы, проценты



Физики в этой главе почти нет – в основном арифметика, которую ты знаешь с пятого класса. Но именно на ней теряют больше всего баллов: забыл перевести тонны в килограммы, подставил диаметр вместо радиуса, округлил запас воды не в ту сторону. Мы посчитаем, сколько литров войдёт в бак, какого диаметра выйдет ракета и сколько воды брать в полёт. На отборе такая задача – короткая история с числами, а в ответ вводится одно число, в нужных единицах и с нужной точностью.

3.1. Единицы измерения и перевод

НА ПАЛЬЦАХ

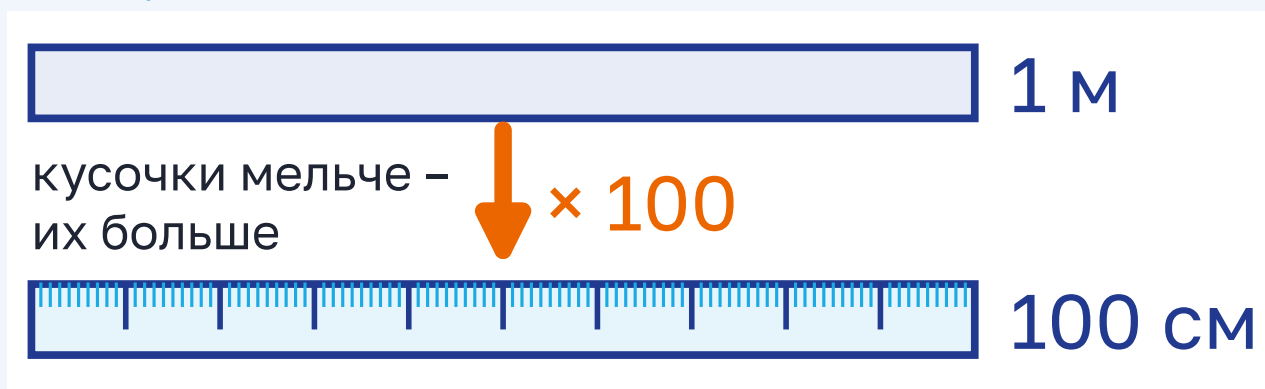


Рисунок 3.1 – Один и тот же метр – в метрах и в сантиметрах

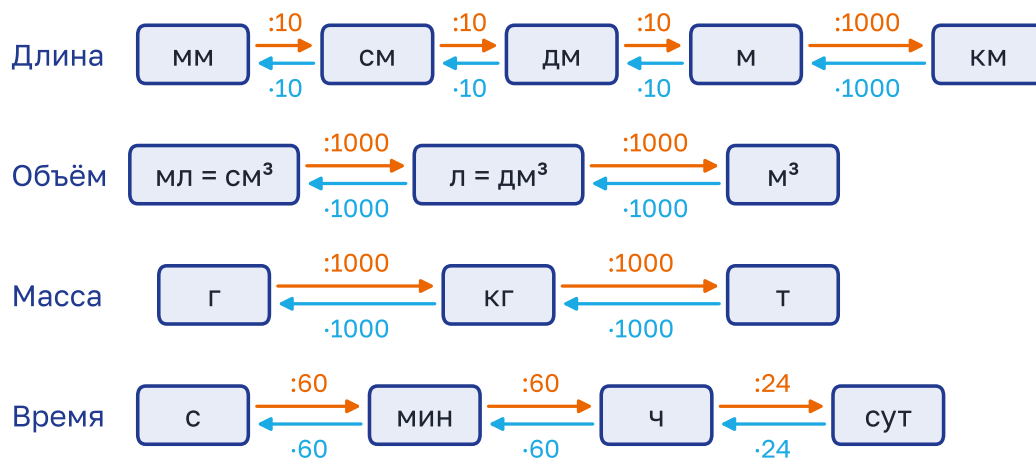
Длина та же, а кусочки мельче – значит, их больше. Поэтому к мелкой единице переходим умножением.

Число в инженерной задаче всегда идёт **с единицей**: 3 м, 5 л, 92 мин. Без единицы оно ничего не значит. «До дачи 40» – это 40 минут или 40 километров? Перепутаешь единицы – и ответ уедет в 10, 100 или 1000 раз, хотя всё остальное решено верно.

Большинство единиц получаются из основной с помощью **приставки** – кусочка слова перед названием единицы:

- **кило-** – тысяча: $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$, $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$;
- **деци-** – десятая часть: $1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м}$;
- **санти-** – сотая часть: $1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$;
- **милли-** – тысячная часть: $1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$, $1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$.

Правило перевода одно: **переходишь к более мелкой единице – умножаешь, к более крупной – делишь**. Проверить себя легко. В метре много миллиметров, значит, миллиметров должно получиться больше, чем метров: $0,75 \text{ м} = 0,75 \cdot 1000 = 750 \text{ мм}$ – больше, всё в порядке. В обратную сторону: $3200 \text{ кг} = 3200 : 1000 = 3,2 \text{ т}$.



→ к более крупной единице – делим (число становится меньше)

← к более мелкой единице – умножаем (число становится больше)

Рисунок 3.2 – Лесенки перевода единиц. Шаг вправо – к более крупной единице – делим, шаг влево – умножаем

- **Длина** – 1 м = 10 дм = 100 см = 1000 мм; 1 км = 1000 м. Пример: 750 мм = 0,75 м.
- **Объём** – 1 м³ = 1000 л; 1 л = 1 дм³ = 1000 мл; 1 мл = 1 см³. Пример: 2,5 м³ = 2500 л.
- **Масса** – 1 т = 1000 кг; 1 кг = 1000 г. Пример: 5,7 т = 5700 кг.
- **Время** – 1 сут = 24 ч; 1 ч = 60 мин; 1 мин = 60 с; 1 сут = 86 400 с. Пример: 92 мин = 5520 с.

Откуда 1 м³ = 1000 л? Кубический метр – это куб со стороной 1 м, в такой ящик целиком влезет стиральная машина. Сторона 1 м – это 10 дм, поэтому внутри уложатся 10 · 10 · 10 = 1000 кубиков со стороной 1 дм. А каждый такой кубик – ровно 1 литр, как пакет молока. По той же причине 1 м³ = 100 · 100 · 100 = 1 000 000 см³: с объёмами «лесенка» шагает не на 10, а сразу на 1000.

Со временем будь внимателен: оно считается не десятками, а по 60 и по 24. **1,5 ч – это 1 ч 30 мин, а не 1 ч 50 мин.** Урок длится 45 мин – это 0,75 ч, а вовсе не 0,45 ч. Чтобы перевести секунды в сутки, дели на 86 400 (это 24 · 60 · 60).

Запомни. Единица мельче – число больше. Объёмы шагают через тысячу: 1 м³ = 1000 л, 1 л = 1000 мл, 1 мл = 1 см³. В сутках 86 400 с, и время не десятичное: 0,5 ч = 30 мин.

Совет. Пиши единицу рядом с каждым числом в решении. Встретились в одном действии тонны и кг/л или сантиметры и метры – остановись и переведи, пока не начал считать.

3.2. Плотность: как связаны масса и объём

НА ПАЛЬЦАХ



1 л воды – 1 кг, 1 л керосина – 0,8 кг

Рисунок 3.3 – Два одинаковых ведра: с водой и с керосином

Вёдра одинаковые, а масса разная. Масса одного литра вещества – это и есть его плотность.

Налей в одно десятилитровое ведро воду, в другое – керосин. Ведро воды потянет на 10 кг, ведро керосина – только на 8 кг. Значит, литр воды – это 1 кг, а литр керосина – 0,8 кг. Масса одного литра (или одного кубического сантиметра, или одного кубического метра) вещества называется **плотностью**. Обозначают её греческой буквой ρ («ро»).

Словами: **масса равна плотности, умноженной на объём**. Буквами:

$$m = \rho \cdot V,$$

где m – масса, ρ – плотность, V – объём. Если нужен объём, массу делим на плотность: $V = m/\rho$. Если нужна плотность, массу делим на объём: $\rho = m/V$. Единицы при этом «сокращаются»: кг/л умножаем на литры – остаются килограммы; г/см³ умножаем на кубические сантиметры – остаются граммы.

Одна и та же плотность в разных единицах:

$$1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ кг/л} = 1000 \text{ кг/м}^3 = 1 \text{ т/м}^3.$$

Из этой строчки – самое полезное правило главы: **в кг/л и в т/м³ плотность записывается одним и тем же числом**. Жидкий кислород – 1,14 кг/л, значит, кубометр жидкого кислорода – это 1,14 т.

Пример 1. Какова масса 2000 л керосина? $m = 0,8 \cdot 2000 = 1600 \text{ кг} = 1,6 \text{ т}$.

Пример 2. Алюминиевый брусок 5 см × 4 см × 2 см. Объём $V = 5 \cdot 4 \cdot 2 = 40 \text{ см}^3$, масса $m = 2,7 \cdot 40 = 108 \text{ г}$ – примерно как плитка шоколада.

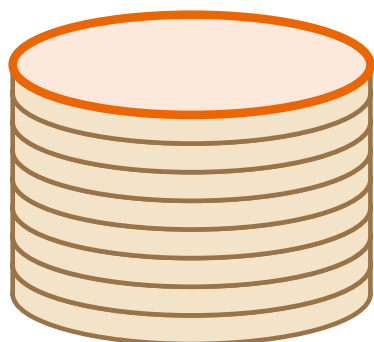
Плотности, которые встречаются в книге (вода, жидкий кислород, керосин, алюминий, титан, пластики), собраны в справочнике в конце книги.

Запомни. Прежде чем умножать на плотность, посмотри, что у неё стоит после черты. Кг/л – объём нужен в литрах, г/см³ – в кубических сантиметрах.

3.3. Объёмы тел

НА ПАЛЬЦАХ

один блин – площадь дна



высота
стопки

объём =
блин × высота

Рисунок 3.4 – Стопка блинов – это цилиндр

Объём цилиндра – площадь одного блина, умноженная на высоту стопки.

Объём – сколько места занимает тело, а для бака – сколько в него войдёт. Баки ракет, корпуса спутников, обтекатели почти всегда собраны из четырёх простых тел: цилиндра, конуса, шара и половинки шара.

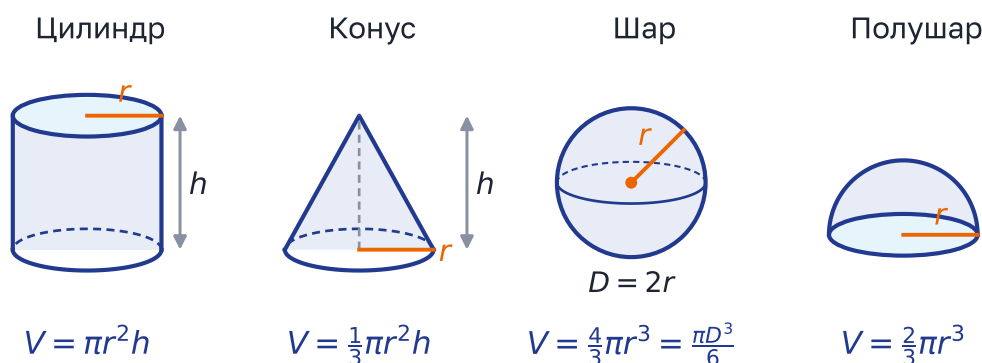


Рисунок 3.5 – Тела, из которых собирают баки и корпуса, и их объёмы. r – радиус, h – высота, D – диаметр

- **Прямоугольный брусок:** $V = a \cdot b \cdot c$ (длина · ширина · высота).
- **Цилиндр:** $V = \pi r^2 h$. Та самая стопка блинов: площадь круглого дна πr^2 – это один блин, умножаем его на высоту стопки.
- **Конус:** $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$. Ровно треть цилиндра с тем же дном и той же высотой: три конуса воды как раз наполнят такой цилиндр.
- **Шар:** $V = \frac{4}{3} \pi r^3$. Если известен диаметр, удобнее $V = \frac{\pi D^3}{6}$ – это та же формула, ведь $r = D/2$.

- **Полушар:** половина шара, $V = \frac{2}{3}\pi r^3$.

Радиус r – расстояние от центра до края, **диаметр** D – от края до края через центр, $D = 2r$. В условиях обычно дают диаметр, а в формулах стоит радиус. Не забудь поделить на 2 – это ошибка номер один во всей главе.

Посчитаем для примера тела с радиусом $r = 1$ м (π – кнопкой калькулятора):

- цилиндр высотой 2 м: $V = 3,14159 \cdot 1^2 \cdot 2 = 6,28 \text{ м}^3$;
- конус высотой 3 м: $V = \frac{1}{3} \cdot 3,14159 \cdot 1^2 \cdot 3 = 3,14 \text{ м}^3$;
- шар ($D = 2$ м): $V = \frac{4}{3} \cdot 3,14159 \cdot 1^3 = 4,19 \text{ м}^3$;
- полушар: $V = \frac{2}{3} \cdot 3,14159 \cdot 1^3 = 2,09 \text{ м}^3$.

Если тело собрано из нескольких частей (цилиндр с конусом сверху, цилиндр с полушариями на концах), считай объём каждой части отдельно и складывай.

Обратная задача: найти диаметр шара по объёму. Это место многие пересчитывают дважды – нормально. Из $V = \frac{\pi D^3}{6}$ получаем

$$D^3 = \frac{6V}{\pi}, \quad D = \sqrt[3]{\frac{6V}{\pi}}.$$

Кубический корень $\sqrt[3]{x}$ – это число, которое, умноженное само на себя три раза, даёт x . Например, $\sqrt[3]{27} = 3$, потому что $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$. Как его найти:

- в инженерном калькуляторе (он есть в телефоне, если повернуть экран набок) – кнопка корня третьей степени или возведение в степень $1/3$;
- в Python – `x ** (1/3)`;
- подбором по таблице ниже, а потом уточнить: $\sqrt[3]{19,1}$ – между 2,5 и 3, потому что $2,5^3 = 15,6$, а $3^3 = 27$. Пробуем: $2,6^3 = 17,6$ – мало, $2,7^3 = 19,7$ – чуть много. Значит, чуть меньше 2,7 (точнее – 2,67).

Таблица 3.1

Диаметр шара D , м	2	2,5	3	3,5	4
D^3	8	15,6	27	42,9	64
Объём шара $\pi D^3/6$, м ³	4,19	8,18	14,14	22,45	33,51

Пример. Шаровой бак объёмом 10 м³. По таблице видно: 10 м³ – между шарами диаметром 2,5 м и 3 м. Точно: $D^3 = 6 \cdot 10 / 3,14159 = 19,1 \text{ м}^3$, $D = \sqrt[3]{19,1} = 2,67 \text{ м}$. Проверка: $3,14159 \cdot 2,67^3 / 6 = 9,97 \text{ м}^3$ – почти 10, сходится.

```
from math import pi

V = 10                                # объём шара, м³
D = (6 * V / pi) ** (1 / 3)           # диаметр, м
print(round(D, 2))                    # 2.67
print(round(pi * D**3 / 6, 2))        # проверка: снова 10.0
```

Совет. Расчёт можно проверить в «Компас-3D». Нарисуй в эскизе половинку круга нужного диаметра и ось вдоль её прямой стороны, поверни «Элементом вращения» – получится шар. Команда «МЦХ» (массо-центровочные характеристики) покажет его объём. Совпал с твоим числом – значит, посчитал верно.

Ещё две вещи сэкономят тебе время. Объём растёт как **куб** размера: шар вдвое большего диаметра вмещает в $2^3 = 8$ раз больше. Поэтому, если топлива нужно в 8 раз больше, бак станет шире всего в 2 раза. А эту находку сделал Архимед больше двух тысяч лет назад: шар занимает $\frac{2}{3}$ цилиндра, в который он входит впритык (высота цилиндра равна диаметру шара). Иначе говоря, такой цилиндр вмещает **в 1,5 раза больше**, чем шар. Пригодится в задаче 3.4.

Запомни. Почти все ошибки здесь – из-за радиуса и диаметра: радиус – половина. Конус – треть цилиндра, полушар – половина шара, шар – две трети цилиндра той же ширины и высоты. Шар вдвое шире – объём в 8 раз больше.

Совет. Считай в метрах – получишь кубические метры, потом переведи в литры ($\cdot 1000$). Если размеры даны в сантиметрах, объём выйдет в см^3 – это миллилитры, делим на 1000 и получаем литры.

3.4. Проценты и пропорции

НА ПАЛЬЦАХ

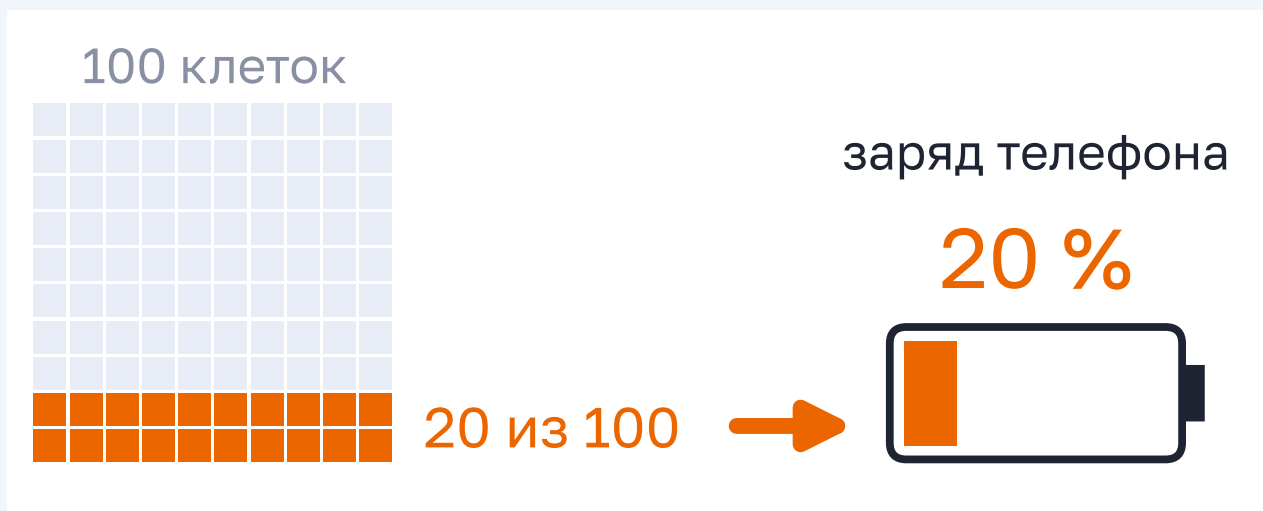


Рисунок 3.6 – Сто клеток и заряд телефона

Процент – одна клетка из ста. 20 % – закрашены 20 клеток из 100, как 20 % заряда на телефоне.

Процент – сотая часть. 1 % от числа – это число, делённое на 100. С процентами делают три вещи:

- **находят процент от числа:** 20 % от 60 л = $60 \cdot 20/100 = 12$ л;
- **узнают, какую долю одно число составляет от другого:** 18 целых панелей из 24 – это $18/24 \cdot 100 = 75$ %;
- **увеличивают или уменьшают на процент:** увеличить 60 л на 20 % – умножить на $1 + 20/100 = 1,2$, получится 72 л; уменьшить на 20 % – умножить на $1 - 0,2 = 0,8$.

Теперь главная ловушка. **«На сколько процентов» – всегда от чего-то.** Процент изменения считают от того значения, что было **до** изменения:

$$\text{изменение в процентах} = \frac{\text{новое} - \text{старое}}{\text{старое}} \cdot 100.$$

Пример. Масса детали выросла с 250 до 300 г: $(300 - 250)/250 \cdot 100 = 20$ %. Потом её облегчили обратно до 250 г – это уменьшение на $(300 - 250)/300 \cdot 100 = 16,7$ %, а не на 20 %: теперь сравниваем с 300. Поэтому «плюс 20 %, потом минус 20 %» к началу не возвращает: $250 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 240$ г. Магазины это хорошо знают.

Пропорции и «во сколько раз». Если одна величина в 1,8 раза больше другой, то вторая в 1,8 раза меньше первой: большую получаем умножением, меньшую – делением. Величина растёт **пропорционально**, если на каждую единицу прибавляется одинаково. Тогда считаем умножением: один человек выпивает 2 л воды в сутки, трое – $3 \cdot 2 = 6$ л в сутки, за 8 суток – $6 \cdot 8 = 48$ л.

Запомни. Увидел «на сколько процентов» – сразу спроси себя: «от чего?». От того, что было **до**. Плюс p % – умножить на $(1 + p/100)$, минус p % – на $(1 - p/100)$.

3.5. Округление: когда, куда и насколько

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 3.7 – 70 литров воды в канистры по 12 литров

В пять канистр влезет 60 л, и 10 л останутся на земле. Чтобы увезти всё, нужна шестая – пусть и неполная.

Калькулятор выдаёт 3,5969246... – а в ответ нужно ввести одно аккуратное число. Правил три.

1. Промежуточные числа не округляй. Держи в калькуляторе полное число или хотя бы 4–5 цифр. Округляют только ответ. Вот что бывает иначе: радиус шара 1,45 м, объём $\frac{4}{3}\pi \cdot 1,45^3 = 12,77 \text{ м}^3$. Округлили радиус до 1,5 м – и вышло 14,14 м³, ошибка больше 10 %. Число возводится в куб, и маленькая неточность разрастается.

2. Точность ответа – как сказано в условии. «Округли до десятых» – оставляем одну цифру после запятой и смотрим на следующую: 3,597 → 3,6; 7,2381 → 7,2. Следующая цифра 5 или больше – последнюю оставшуюся увеличиваем на 1, меньше 5 – не трогаем.

3. Куда округлять – решает смысл задачи.

- **Вверх** – когда нужно, **чтобы хватило**: воды на сутки, канистр, баллонов, батареек. Это картинка с канистрами: $70/12 = 5,83$ – берём 6. Полёт длится 7,06 суток – воду берём на 8 суток: восьмые сутки уже начались, и пить в них тоже надо.
- **Вниз** – когда спрашивают, **сколько целых штук получится**: из 5 кг алюминия пластинки по 162 г – $5000/162 = 30,86$, то есть 30 целых пластинок; тридцать первую сделать не из чего.
- **До ближайшего целого с проверкой** – когда ответ обязан быть целым по смыслу (число панелей, людей), а неточность пришла из приборов: $22,99 \rightarrow 23$. Но если вышло 6,47, это не «примерно 6» – это сигнал, что в решении ошибка.

Запомни. Спрашивают «сколько взять» – вверх. Спрашивают «сколько получится» – вниз. Ждал целое, а вышло 6,47 – ищи ошибку, а не округляй.

3.6. Скорость процесса

НА ПАЛЬЦАХ

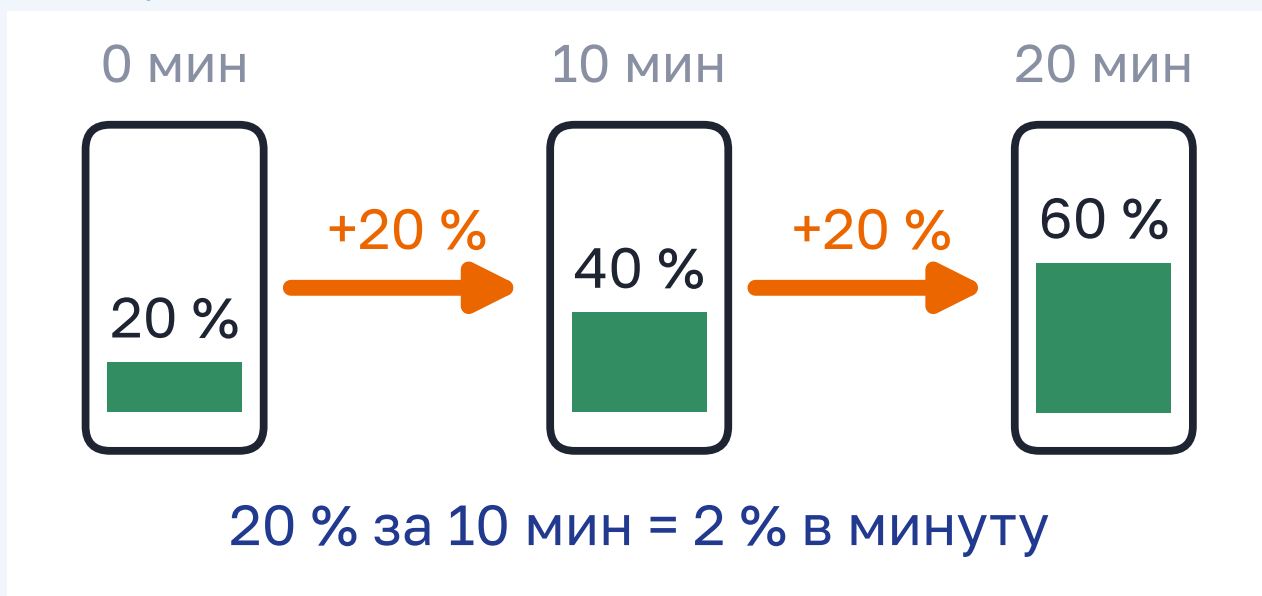


Рисунок 3.8 – Телефон на зарядке: каждые 10 минут – плюс 20 %

Скорость зарядки – сколько процентов прибавляется за минуту. Здесь 20 % за 10 мин, то есть 2 % в минуту.

Скорость бывает не только у ракеты. **Скорость процесса** – сколько работы делается за одну минуту (час, секунду): процентов заряда в минуту, литров в минуту, деталей в час. Считают её так же, как скорость движения, только вместо пути – работа:

$$\text{скорость} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}, \quad \text{время} = \frac{\text{работа}}{\text{скорость}}.$$

Процесс идёт **линейно**, если скорость всё время одна и та же: зарядка от 0 до 10 % занимает столько же минут, сколько от 90 до 100 %. Тогда график «заряд – время» – прямая линия. Настоящий телефон, кстати, ближе к 100 % заряжается медленнее. Поэтому в задачах всегда отдельно пишут: «зарядка идёт линейно».

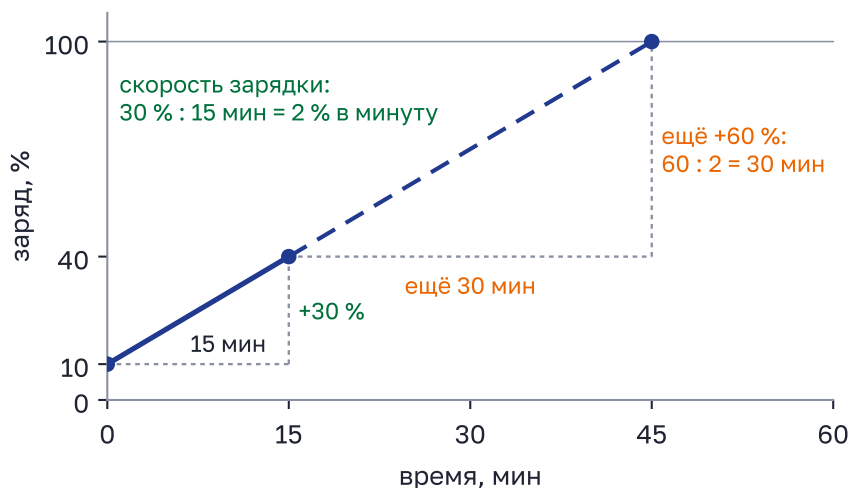


Рисунок 3.9 – Линейная зарядка: за 15 минут заряд вырос с 10 до 40 %, значит, скорость 2 % в минуту, и до 100 % осталось ещё 30 минут

Пример. Аккумулятор за 15 мин зарядился с 10 до 40 %. Скорость: $(40 - 10)/15 = 2$ % в минуту. До 100 % осталось $100 - 40 = 60$ %, на это нужно $60/2 = 30$ мин. Можно и без «скорости», пропорцией: 30 % – за 15 мин, значит, 60 % – вдвое дольше, 30 мин.

Ожидание. Часто два дела идут одновременно: пока инструмент заряжается, человек работает руками. Если зарядка заканчивается позже ручной работы, приходится ждать:

$$\text{ожидание} = \text{время зарядки} - \text{время ручной работы}.$$

А если зарядка закончилась раньше, ожидание – **ноль**, а не отрицательное число. Руки всё равно заняты, и освободиться раньше не выйдет. Так и с чайником: он вскипел, пока ты резал бутерброд, – но бутерброд от этого быстрее не нарежется.

Если условия меняются (например, на зарядку стало приходить больше энергии), скорость становится другой – её нужно посчитать заново для каждого нового отрезка.

Запомни. Время = работа : скорость. Ожидание не бывает меньше нуля. Поменялись условия – пересчитай скорость.

3.7. Разбираем задачи

Задача 3.1 Кислород в баке

разминка · плотность, перевод единиц

В бак ракеты залили 5,7 т жидкого кислорода. Какой объём он занимает? Ответ дай в литрах и в кубических метрах.

Дано: $m = 5,7$ т; $\rho = 1,14$ кг/л.
Найти: V – ?

Решение

Шаг 1. Переводим единицы. Плотность дана в кг/л, значит, массу нужно выразить в килограммах: $5,7 \text{ т} = 5,7 \cdot 1000 = 5700$ кг.

Шаг 2. Объём. $V = m/\rho = 5700/1,14 = 5000$ л.

Шаг 3. В кубометры. В $1 \text{ м}^3 - 1000$ л: $5000/1000 = 5 \text{ м}^3$.

Прикинем на глаз. Жидкий кислород чуть тяжелее воды (1,14 против 1 кг/л), значит, 5700 кг займут чуть меньше 5700 л. 5000 л – подходит. А можно и вовсе в одно действие: $1,14 \text{ кг/л} = 1,14 \text{ т/м}^3$, и $5,7/1,14 = 5 \text{ м}^3$ сразу.

⚠ Типичная ошибка. Поделить 5,7 на 1,14 и написать «5 л». Тонны не переведены в килограммы, поэтому ответ меньше верного в 1000 раз. Бывает и наоборот – умножают вместо деления: $5700 \cdot 1,14 = 6498$, но это вообще не литры.

Ответ: 5000 л = 5 м³.

Своя задача по программе сферы, модуль 3

Реши сам

3.1. Бак для воды вмещает $0,35 \text{ м}^3$. Сколько это литров?

3.2. Пластина из алюминия имеет размеры $20 \text{ см} \times 10 \text{ см} \times 3 \text{ мм}$. Найди её массу в граммах.

Задача 3.2 Плюс камера, минус камера

разминка · проценты, процент изменения

По проекту масса научного блока спутника – 8 кг. Инженеры добавили камеру, и масса выросла до 10 кг. а) На сколько процентов выросла масса? б) Потом камеру заменили лёгкой, и масса вернулась к 8 кг. На сколько процентов она уменьшилась по сравнению с 10 кг?

Дано: было 8 кг, стало 10 кг, потом снова 8 кг.

Найти: рост в %, уменьшение в %.

Решение

Шаг 1. Рост. Сравниваем с тем, что было до изменения, – с 8 кг. Прибавилось $10 - 8 = 2 \text{ кг}$.
 $2/8 \cdot 100 = 25 \%$.

Шаг 2. Уменьшение. Теперь «до изменения» было 10 кг. Убавилось те же 2 кг:
 $2/10 \cdot 100 = 20 \%$.

Проверим обратным ходом: $8 \cdot 1,25 = 10 \text{ кг}$ и $10 \cdot 0,8 = 8 \text{ кг}$. Почему проценты разные? Одни и те же 2 кг – это большая доля от маленького числа 8 и меньшая – от большого числа 10.

 **Типичная ошибка.** Многие отвечают «на 25 % в обе стороны». Процент всегда считается от значения «до», а оно в двух вопросах разное. Проверь: $10 \cdot 0,75 = 7,5 \text{ кг}$, а не 8.

Ответ: а) на 25 %; б) на 20 %.

Своя задача по программе сферы, модуль 3

Реши сам

3.3. После поломки мощность станции упала с 400 Вт до 320 Вт. На сколько процентов теперь нужно увеличить мощность, чтобы она снова стала 400 Вт?

3.4. Запас топлива марсохода по проекту – 150 кг. Сначала его увеличили на 20 %, а потом уменьшили на 20 % от нового значения. Сколько килограммов топлива стало? На сколько процентов это меньше исходных 150 кг?

Задача 3.3 Какого диаметра будет ракета

плотность, объём шара, кубический корень

Проектируем топливный отсек ракеты (рисунок ниже). В нижний бак – цилиндр – заливают 50 т жидкого кислорода (**окислитель** – вещество, без которого горючее не горит). В верхний бак – шар – заливают керосин (**горючее**). Чтобы двигатель работал правильно, объём кислорода должен быть в 1,8 раза больше объёма керосина. Диаметр шара равен диаметру ракеты. Найди диаметр ракеты в метрах, округли до десятых.

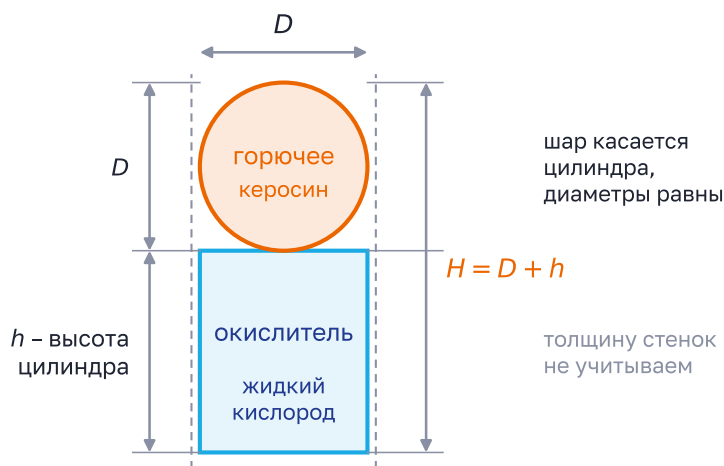


Рисунок 3.10 – Топливный отсек: шаровой бак горючего стоит на цилиндрическом баке окислителя. Диаметры одинаковые, H – высота всего отсека

Дано: $m_{\text{ок}} = 50 \text{ т}$; $\rho_{\text{ок}} = 1,14 \text{ кг/л}$; $V_{\text{ок}} = 1,8 \cdot V_{\text{гор}}$.

Найти: D – ?

Решение

Шаг 1. Строим цепочку. Диаметр шара найдём по его объёму, а объём шара – это объём керосина. Его узнаем через объём кислорода, а тот – по массе и плотности. Выходит цепочка: масса кислорода → объём кислорода → объём керосина → диаметр.

Шаг 2. Масса в килограммах. $50 \text{ т} = 50\,000 \text{ кг}$.

Шаг 3. Объём кислорода. $V_{\text{ок}} = 50\,000 / 1,14 = 43\,859,6 \text{ л}$. В кубометрах:
 $43\,859,6 / 1000 = 43,860 \text{ м}^3$.

Шаг 4. Объём керосина. Кислорода в 1,8 раза больше – значит, керосина в 1,8 раза меньше:
 $V_{\text{гор}} = 43,860 / 1,8 = 24,366 \text{ м}^3$.

Шаг 5. Диаметр шара. Сначала прикинем по таблице из раздела 3.3: $24,4 \text{ м}^3$ – чуть больше, чем у шара диаметром 3,5 м ($22,45 \text{ м}^3$), и немного меньше, чем у шара 4 м ($33,51 \text{ м}^3$). Значит, диаметр – чуть больше 3,5 м. Теперь точно: $D^3 = 6V / \pi = 6 \cdot 24,366 / 3,14159 = 46,537 \text{ м}^3$,
 $D = \sqrt[3]{46,537} = 3,597 \text{ м} \approx 3,6 \text{ м}$.

Проверка. $3,6^3 = 46,66$, а у нас 46,54 – разница в сотых, округлили правильно. Кстати, керосина в баке $24,366 \cdot 0,8 = 19,5 \text{ т}$.

А теперь сравним с настоящими ракетами: у средних ракет-носителей диаметр около 3–4 м, примерно ширина твоей комнаты. Наш ответ как раз такой.

❗ **Типичная ошибка.** Подставить объём в литрах: $\sqrt[3]{6 \cdot 24\,366/\pi} = 36$ – и получить ракету диаметром 36 «метров». Литры в формулу с метрами не подставляют. Ещё умножают на 1,8 вместо деления – тогда у керосина окажется больше объёма, чем у кислорода. А кто считал по формуле $\frac{4}{3}\pi r^3$, легко найдёт радиус 1,8 м и запишет в ответ его, а не диаметр.

Ответ: 3,6 м.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Расчёт баков ракеты. Часть 1»

Реши сам

3.5. Шаровой бак диаметром 2,4 м полностью заполнен керосином. Какова масса керосина в тоннах? Округли до десятых.

3.6. Шаровой бак нужно сделать таким, чтобы в него вошло ровно 3,2 т керосина. Какого диаметра должен быть бак? Ответ в метрах, округли до десятых.

Задача 3.4 Высота топливного отсека

объём шара, объём цилиндра, пропорции

Продолжаем проектировать отсек из задачи 3.3. Теперь известно, что диаметр баков $D = 3,6$ м. Керосин целиком заполняет шар, кислород – цилиндр, и объём кислорода по-прежнему в 1,8 раза больше объёма керосина. Шар стоит на цилиндре (см. рисунок к задаче 3.3), толщину стенок не учитываем. Найди высоту H всего топливного отсека в метрах, округли до сотых.

Дано: $D = 3,6$ м; $V_{\text{ок}} = 1,8 \cdot V_{\text{гор}}$.

Найти: H – ?

Решение

Шаг 1. Из чего складывается высота. Высота отсека – это высота шара (она равна диаметру D) плюс высота цилиндра h : $H = D + h$. Высоту цилиндра найдём по его объёму:

$$h = V_{\text{ок}} / (\pi r^2).$$

Шаг 2. Объём шара. $V_{\text{гор}} = \pi D^3 / 6 = 3,14159 \cdot 3,6^3 / 6 = 3,14159 \cdot 46,656 / 6 = 24,429 \text{ м}^3$.

Шаг 3. Объём цилиндра. $V_{\text{ок}} = 1,8 \cdot 24,429 = 43,972 \text{ м}^3$.

Шаг 4. Площадь дна цилиндра. Радиус $r = 3,6 / 2 = 1,8$ м.

$$S = \pi r^2 = 3,14159 \cdot 1,8^2 = 3,14159 \cdot 3,24 = 10,179 \text{ м}^2.$$

Шаг 5. Высота цилиндра. $h = 43,972 / 10,179 = 4,32$ м.

Шаг 6. Высота отсека. $H = 3,6 + 4,32 = 7,92$ м.

Короткий путь – через Архимеда (раздел 3.3). Цилиндр высотой D вмещает в 1,5 раза больше шара того же диаметра. А нам нужно в 1,8 раза больше. Значит, цилиндр выше диаметра в

$1,8:1,5 = 1,2$ раза: $h = 1,2 \cdot 3,6 = 4,32$ м – то же самое, и без единого π . Масса кислорода здесь вообще не понадобилась: всё решают диаметр и соотношение объёмов.

Отсек вышел чуть выше двух диаметров – длинный и узкий, как и положено ступени ракеты.

⚠ Типичная ошибка. Опять диаметр вместо радиуса: подставишь в πr^2 3,6 вместо 1,8 – днс выйдет в 4 раза больше, а цилиндр в 4 раза ниже: $h = 1,08$ м. И обидный промах в самом конце – ответить 4,32 м, высотой одного цилиндра, и забыть прибавить шар.

Ответ: 7,92 м.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Расчёт баков ракеты. Часть 2»

Реши сам

3.7. Баллон для газа – цилиндр с внутренним диаметром 20 см и высотой 50 см, закрытый с обоих концов полушариями того же диаметра. Сколько литров он вмещает? Округли до десятых.

3.8. Головной обтекатель ракеты – цилиндр диаметром 2 м и высотой 3 м, а сверху на нём конус того же диаметра высотой 1,5 м. Найди объём обтекателя в кубических метрах, округли до десятых.

3.9.* Топливный отсек, как на рисунке к разобранной задаче 3.3: шаровой бак керосина стоит на цилиндрическом баке жидкого кислорода того же диаметра. Высота отсека $H = 8$ м, объём кислорода в 1,5 раза больше объёма керосина, баки заполнены целиком. Найди массу жидкого кислорода в тоннах, округли до целых.

Задача 3.5 Запас воды на миссию

перевод единиц времени, округление вверх, проценты

Экипаж корабля – 2 человека. Каждому нужно 2,5 л воды в сутки. Воду выдают суточными нормами: на каждые начатые сутки – полная норма. Программа полёта – не больше 110 витков вокруг Земли; длина одного витка 42 700 км, скорость корабля 7,7 км/с. Сверх нормы берут резерв – 25 % от нужного количества. Сколько литров воды взять, чтобы её точно хватило? Ответ – целое число литров.

Дано: 2 чел.; 2,5 л/сут на человека; 110 витков; $L = 42\,700$ км; $v = 7,7$ км/с; резерв 25 %.

Найти: сколько литров воды взять.

Решение

Шаг 1. Витки или сутки? Норма дана «в сутки», а длительность полёта – в витках. Значит, сначала переводим витки во время, время – в сутки, и только потом считаем воду.



Рисунок 3.11 – Цепочка расчёта: витки → секунды → сутки → литры → литры с резервом

Шаг 2. Время одного витка. Время = путь / скорость: $t_1 = 42\,700 / 7,7 = 5545,45 \text{ с}$. Километры делим на км/с – получаются секунды.

Шаг 3. Время всего полёта. $t = 110 \cdot 5545,45 = 610\,000 \text{ с}$.

Шаг 4. В сутки. В сутках 86 400 с: $610\,000 / 86\,400 = 7,06 \text{ сут}$.

Шаг 5. Округляем вверх. Полёт идёт 7 полных суток и ещё немного – восьмые сутки начались, на них тоже нужна норма. Считаем **8 суток**.

Шаг 6. Вода без резерва. В сутки экипаж выпивает $2 \cdot 2,5 = 5 \text{ л}$. За 8 суток: $5 \cdot 8 = 40 \text{ л}$.

Шаг 7. Резерв. Прибавить 25 % – умножить на 1,25: $40 \cdot 1,25 = 50 \text{ л}$.

Проверка разумности. Выходит около 3 л на человека в день вместе с резервом – примерно столько и нужно, чтобы пить и готовить еду.

⚠ Типичная ошибка. Рука сама тянется округлить 7,06 до 7 суток «по правилам» – и выходит $5 \cdot 7 \cdot 1,25 = 43,75 \text{ л}$. На восьмые сутки воды не останется: округлять запас нужно **вверх**. Случается и такое: секунды поделили на 3600, получили 169 и записали как сутки. Но это часы – их ещё надо поделить на 24.

Ответ: 50 л.

По мотивам пробной задачи отборочного тура НТИ Junior 2019 года «Запас воды на орбите»

Совет. В исходной задаче 2019 года условие не говорило про «начатые сутки», а в решении авторов дни всё равно округлили вверх. Если в задаче норма дана «в сутки» и нужно, «чтобы точно хватило», округляй сутки вверх.

Реши сам

3.10. Сколько суток в 1 000 000 секунд? Округли до десятых.

3.11. Экипаж из 3 человек полетит на 200 витков, один виток длится 92 мин. Каждому нужно 2 л воды в сутки, на каждые начатые сутки выдают полную норму. Резерв – 10 % от нужного количества. Сколько литров воды взять? Ответ – целое число литров, чтобы точно хватило.

3.12. Из листа алюминия массой 8 кг вырезают пластины массой по 162 г. Сколько целых пластин получится? Отходы при резке не учитывай.

Задача 3.6* Сколько панелей разбито

проценты, целые числа, округление, проверка

Станция получает электричество от одинаковых солнечных панелей. Кусок космического мусора разбил несколько панелей, и мощность упала до 71,88 % от прежней. Космонавт заменил одну разбитую панель на новую, и мощность выросла примерно на 4,35 %. Разбитая панель не даёт ничего, каждая целая – одну и ту же мощность. Приборы показывают проценты с небольшой неточностью. Сколько всего панелей N и сколько из них разбито (K)? В ответ введи произведение $N \cdot K$.

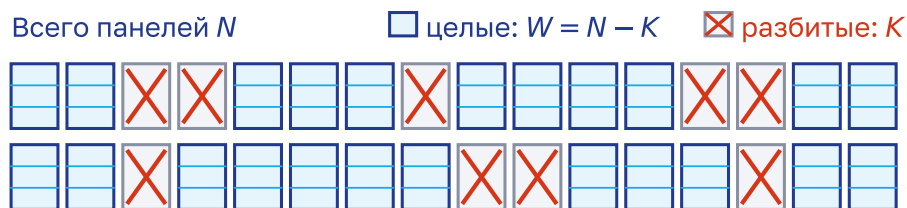


Рисунок 3.12 – Панели станции: W целых и K разбитых, всего $N = W + K$

Дано: после удара мощность – 71,88 % от прежней; после замены одной панели – рост на 4,35 %.

Найти: N , K , $N \cdot K$.

Решение

Шаг 1. Обозначения. Мощность пропорциональна числу целых панелей. Обозначим целые панели после удара $W = N - K$. Нужно найти два целых числа, N и K , по двум процентам.

Шаг 2. От чего считали 4,35 %? Это главный вопрос задачи. Есть два варианта: прибор сравнил новую мощность с той, что была **перед заменой** (от W панелей), или с **прежней** (от N панелей). Проверим оба – неверный вариант выдаст себя нецелыми числами.

Шаг 3. Вариант А: от мощности перед заменой. До замены работали W панелей, после – $W + 1$. Одна панель – это $1/W$ часть от мощности W панелей. Прикинем на простых числах: было бы 10 целых панелей – одна новая добавила бы 10 %, было бы 20 – добавила бы 5 %. Значит, $\frac{1}{W} \cdot 100 = 4,35$, откуда $W = 100/4,35 = 22,99$. Панели целые: $W = 23$.

Шаг 4. Всего панелей. 23 целые панели дают 71,88 % от мощности всех N панелей: $W/N = 0,7188$, откуда $N = 23/0,7188 = 32,00$. Значит, $N = 32$, разбито $K = 32 - 23 = 9$.

Шаг 5. Проверка варианта А. $23/32 \cdot 100 = 71,875 \approx 71,88$ % – совпало. После замены $24/23 = 1,0435$, то есть рост на 4,35 %, – тоже. И оба числа вышли почти целыми (22,99 и 32,00).

Шаг 6. Вариант Б: от прежней мощности. Тогда одна панель – это $1/N$ от прежней: $N = 100/4,35 = 22,99 \approx 23$. Разбито $K = 23 \cdot (1 - 0,7188) = 23 \cdot 0,2812 = 6,47$. Это далеко от целого – ни 6, ни 7 не подходят (проверь: $17/23 = 73,9$ %, $16/23 = 69,6$ %, а не 71,88 %). Вариант Б отпадает.

Шаг 7. Ответ. $N \cdot K = 32 \cdot 9 = 288$.

⚠ Типичная ошибка. Самая частая – не задуматься, от чего считаются 4,35 %, и сразу сказать «одна панель – 4,35 % от всех», как в варианте Б. Получаются нецелые панели, и хочется «подогнать» 6,47 до 6. Нецелое число – это не повод округлять, а сигнал, что решение неверно. А если округлить 4,35 до 4, выйдет $W = 25$, и дальше всё рассыплется.

Ответ: 288 ($N = 32$, $K = 9$).

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Чиним солнечные панели (часть 1 – оценка повреждений)»

Реши сам

3.13. У станции 25 одинаковых солнечных панелей, 7 из них перестали работать. Сколько процентов от полной мощности дают оставшиеся?

3.14.* Метеорит разбил несколько одинаковых солнечных панелей станции, и мощность упала до 62,5 % от прежней. После замены одной разбитой панели мощность выросла примерно на 6,67 %. Разбитые панели не дают ничего, целые – одинаковую мощность. Найди число панелей N и число разбитых K . В ответ введи $N \cdot K$.

Задача 3.7* Паяльник, который надо ждать

скорость процесса, линейная зарядка, ожидание

Космонавт выходит в открытый космос заменить 5 разбитых солнечных панелей. На каждую панель нужно 30 мин монтажа, а затем 10 мин работы паяльником. Паяльник работает от своего накопителя: полного заряда хватает ровно на одну панель, и после пайки он пуст. Хранится паяльник разряженным.

Подлетев к панели, космонавт сразу ставит паяльник заряжаться от сети станции и начинает монтаж. Зарядка идёт линейно. Станция тратит на свои системы всё время одну и ту же мощность, а на зарядку идёт то, что остаётся. После монтажа первой панели паяльник заряжен на 50 %, и космонавт ждёт полной зарядки. После пайки он подключает панель к сети, перелетает к следующей (перелёт короткий – не учитывай) и снова ставит паяльник заряжаться. К концу монтажа второй панели заряд – 75 %. Сколько минут займёт замена всех 5 панелей?

Дано: монтаж 30 мин, пайка 10 мин; заряд к концу монтажа: 1-я панель – 50 %, 2-я – 75 %; всего 5 панелей.

Найти: общее время, мин.

Решение

Шаг 1. Панель 1. За 30 мин монтажа паяльник набрал 50 %. Зарядка линейная, значит, 100 % – вдвое больше – наберётся вдвое дольше: $30 \cdot 2 = 60$ мин. Монтаж закончен на 30-й минуте – ждём $60 - 30 = 30$ мин. Потом 10 мин пайки. Итого $30 + 30 + 10 = 70$ мин.

Шаг 2. Панель 2. За 30 мин – 75 %. До полного заряда: $100/75 \cdot 30 = 40$ мин. Ждём $40 - 30 = 10$ мин. Итого $30 + 10 + 10 = 50$ мин.

Шаг 3. Почему вторая зарядка быстрее. Первую панель уже подключили к сети. Станция тратит на свои системы столько же, сколько раньше, значит, вся мощность новой панели идёт на зарядку. Одна панель добавила $75 - 50 = 25$ % за 30 мин. Каждая следующая починенная панель добавит столько же.

Шаг 4. Панель 3. За 30 мин: $75 + 25 = 100$ % – паяльник заряжен как раз к концу монтажа. Ждать не нужно: $30 + 0 + 10 = 40$ мин.

Шаг 5. Панели 4 и 5. Зарядка ещё быстрее: за 30 мин набралось бы 125 % и 150 %, то есть полный заряд – за $100/125 \cdot 30 = 24$ и $100/150 \cdot 30 = 20$ мин. Паяльник готов раньше, чем закончен монтаж, но монтаж всё равно длится 30 мин. Ожидание ноль, каждая панель – 40 мин.

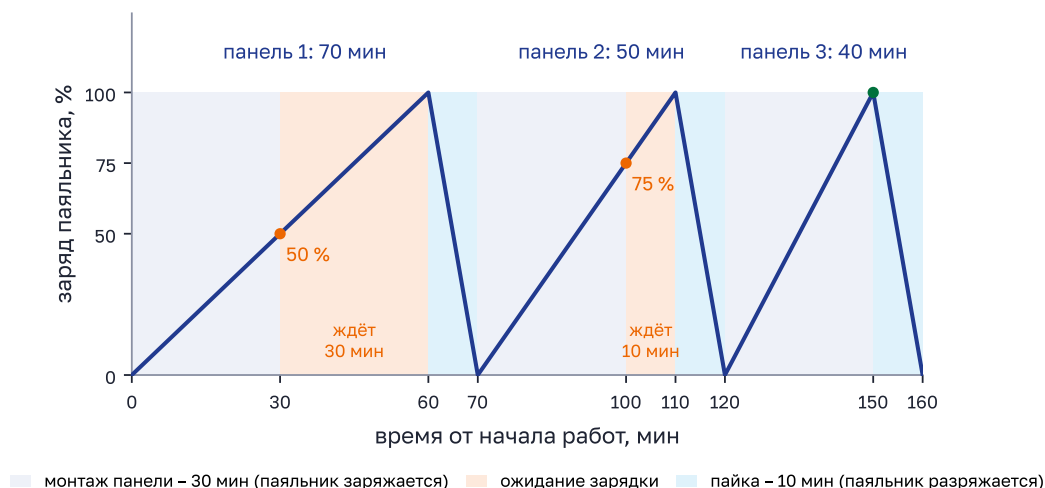


Рисунок 3.13 – Заряд паяльника во время замены первых трёх панелей: ожидание становится короче и на третьей панели исчезает

Шаг 6. Всего. $70 + 50 + 40 + 40 + 40 = 240$ мин (4 ч).

Проверка кодом. Пять похожих шагов – как раз работа для цикла:

```
montazh, payka = 30, 10
zaryad_1, zaryad_2 = 50, 75          # % к концу монтажа 1-й и 2-й панели
pribavka = zaryad_2 - zaryad_1      # на сколько % больше даёт каждая новая панель
vsego = 0
for i in range(5):
    za_montazh = zaryad_1 + i * pribavka          # % за 30 мин у (i+1)-й панели
    polnyi = 100 / za_montazh * montazh          # минут до 100 %
    ozhidanie = max(0, polnyi - montazh)
    vsego += montazh + ozhidanie + payka
print(vsego)    # 240.0
```

Без ожидания 5 панелей заняли бы $5 \cdot 40 = 200$ мин, а ждать пришлось всего 40 мин (30 на первой панели и 10 на второй) – остальное время космонавт работал руками.

⚠ Типичная ошибка. Считать, что все панели как первая: $5 \cdot 70 = 350$ мин, или что все следующие как вторая: $70 + 4 \cdot 50 = 270$ мин. Другая ловушка – «отрицательное ожидание»: на 4-й панели паяльник зарядился за 24 мин, и кажется, что сэкономлено 6 мин. Нет: монтаж руками всё равно длится 30 мин.

Ответ: 240 мин.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Чиним солнечные панели (часть 2 – Космический Суперпаяльник)»

Реши сам

3.15. Аккумулятор лунохода заряжается линейно: за 24 мин заряд вырос с 20 % до 50 %. Сколько ещё минут нужно до полной зарядки?

3.16.* Космонавт меняет 4 панели. На каждую: 24 мин монтажа, потом 6 мин пайки. Паяльник, как в разобранный задаче 3.7, в начале пуст, ставится на зарядку в начале монтажа каждой панели, полного заряда хватает ровно на одну пайку, а каждая подключённая панель ускоряет зарядку на одну и ту же величину. К концу монтажа первой панели заряд 40 %, второй – 60 %. Сколько минут займёт замена 4 панелей?

Орбиты: как летают спутники



Почему МКС облетает Землю за полтора часа, а спутник, который показывает тебе телевизор, сутками стоит в одной точке неба? Может ли МКС пролететь прямо над Новосибирском? (Нет – и в этой главе ты поймёшь почему.) Сколько минут спутник летит в темноте и живёт на одном аккумуляторе? На отборе такие задачи бывают двух видов: «выбери верные утверждения» и расчёт по одной-двум формулам, иногда с построением в «Компас-3D».

4.1. Что такое орбита и почему спутник не падает

НА ПАЛЬЦАХ

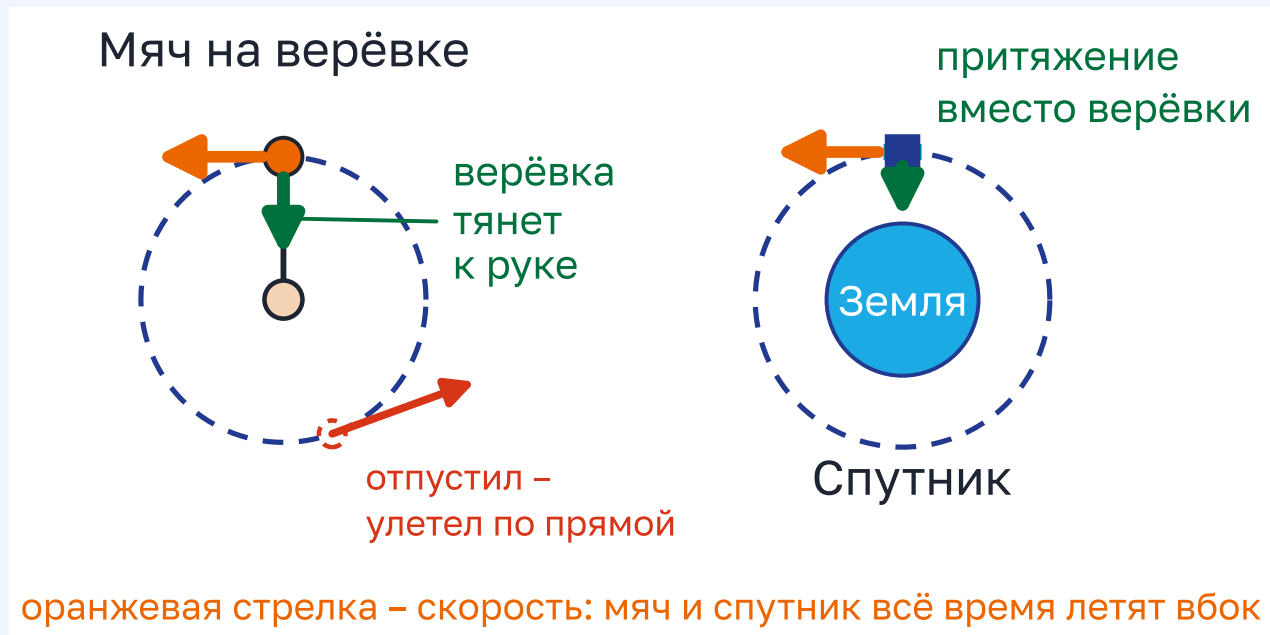


Рисунок 4.1 – Мяч на верёвке и спутник на орбите

Раскрути мяч на верёвке: верёвка тянет его к руке, а он летит по кругу. Спутник держит на круге притяжение Земли.

Орбита – путь, по которому одно тело летит вокруг другого: Луна – вокруг Земли, Земля – вокруг Солнца, спутник – вокруг Земли. Бывают орбиты вытянутые (эллипс, как у комет из главы 1) и круглые. В этой главе почти все орбиты **круговые**: спутник летит по окружности, центр которой – центр Земли.

Почему спутник не падает? Он падает – всё время. Но летит так быстро вбок, что каждый раз «промахивается» мимо Земли (помнишь пушку Ньютона из главы 2?). Скорость спутника направлена **по касательной** к орбите – под прямым углом к направлению на центр Земли. Притяжение тянет спутник к центру и загибает его путь в окружность, как верёвка загибает путь мяча. Исчезни притяжение – спутник улетел бы по прямой.

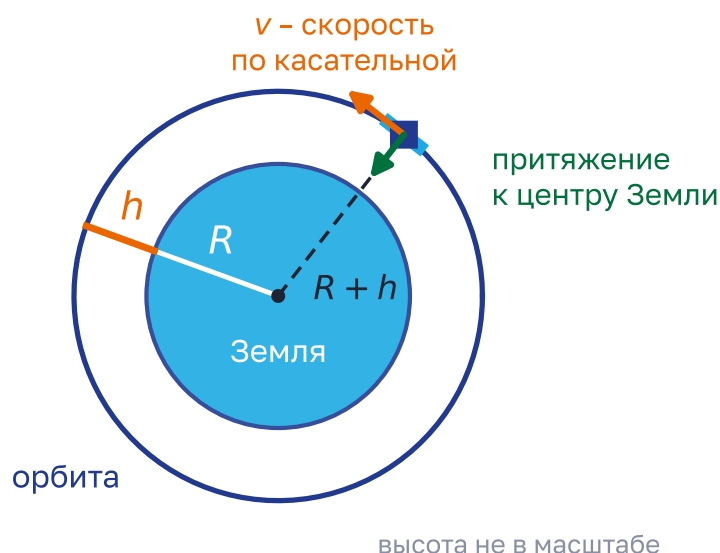


Рисунок 4.2 – Круговая орбита. R – радиус Земли, h – высота орбиты над поверхностью, $R + h$ – радиус орбиты (от центра Земли до спутника)

На рисунке два расстояния, и их путают чаще всего:

- **высота орбиты** h – от **поверхности** Земли до спутника (её называют в новостях: «МКС летает на высоте 420 км»);
- **радиус орбиты** $R + h$ – от **центра** Земли до спутника. Радиус Земли $R = 6371$ км.

Пример. МКС на высоте 420 км: радиус орбиты $6371 + 420 = 6791$ км.

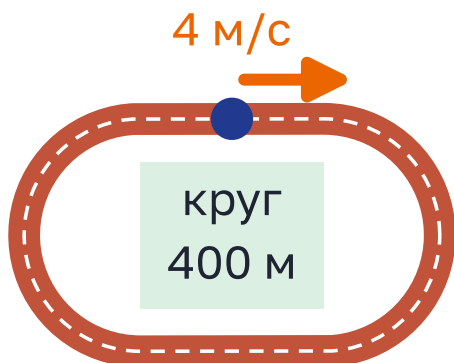
Круговая скорость – скорость, с которой нужно лететь, чтобы орбита получилась кругом. У самой поверхности Земли (если бы не мешал воздух) это **первая космическая скорость** – около 7,9 км/с, почти 8 километров за одну секунду. Обское море в длину около 200 км – с такой скоростью его можно пролететь меньше чем за полминуты. Чем выше орбита, тем слабее притяжение и тем **меньше** нужная скорость: МКС летит примерно 7,66 км/с, спутники ГЛОНАСС – около 3,95 км/с, геостационарные – около 3,07 км/с. На отборе скорость обычно дают в условии.

Для любопытных: откуда 7,9 км/с. Для круговой орбиты у поверхности Земли скорость считают по формуле $v_1 = \sqrt{g \cdot R}$, где R – в метрах: $\sqrt{9,8 \cdot 6\,371\,000} \approx 7902$ м/с $\approx 7,9$ км/с. Для высоты h скорость меньше: $v = 7,9 \cdot \sqrt{R/(R + h)}$ км/с. Для МКС $7,9 \cdot \sqrt{6371/6791} = 7,9 \cdot 0,969 \approx 7,65$ км/с. Настоящая скорость – 7,66 км/с: одна сотая «потерялась», потому что 7,9 и 9,8 – округлённые числа.

4.2. Период и число витков

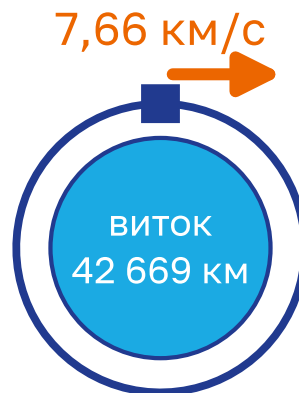
НА ПАЛЬЦАХ

Круг по стадиону



$$400 : 4 = 100 \text{ с}$$

Виток МКС



$$42\,669 : 7,66 = 5570 \text{ с} \\ \approx 93 \text{ мин}$$

Рисунок 4.3 – Круг по стадиону и виток МКС

Время одного круга – это длина круга, делённая на скорость. Для стадиона и для орбиты правило одно.

Виток – один полный облёт Земли. **Период** T – сколько времени длится один виток.

За виток спутник проходит длину окружности радиуса $R + h$, то есть $2\pi(R + h)$ (справочник). Время – это путь, делённый на скорость (глава 2). Словами: период равен длине витка, делённой на скорость. Буквами:

$$T = \frac{2\pi(R + h)}{v},$$

где T – период, $R + h$ – радиус орбиты, v – скорость спутника. Радиус в километрах, скорость в км/с – период выйдет в **секундах**. Чтобы перевести в минуты, делим на 60, в часы – на 3600.

Пример. МКС: $h = 420$ км, $v = 7,66$ км/с.

1. Радиус орбиты: $R + h = 6371 + 420 = 6791$ км.
2. Длина витка: $2\pi \cdot 6791 = 42\,669$ км.
3. Период: $T = 42\,669 / 7,66 = 5570$ с.
4. В минутах: $5570 / 60 = 92,8$ мин – примерно полтора часа.

Сколько витков в сутки. В сутках $24 \cdot 60 = 1440$ минут. Число витков $N = 1440 / T$, где T – в минутах. Для МКС $1440 / 92,8 = 15,5$: станция облетает Землю пятнадцать с половиной раз в сутки, и космонавты видят 15–16 восходов Солнца. Пока ты ночью спишь восемь часов, МКС успевает обогнуть Землю больше пяти раз.

Запомни. К высоте прибавь 6371 км – получишь радиус орбиты. $T = 2\pi(R + h)/v$: километры делим на километры в секунду – выходят секунды. Витков в сутки – $1440/T$, где T в минутах.

Совет. Проверяй себя по МКС. У низких орбит (300–1000 км) виток длится от 90 до 105 минут, а витков в сутки выходит от 14 до 16 (на самом верху, у 1000 км, – чуть меньше 14). Получилось «виток за 3 минуты» или «виток за 30 часов» – значит, потерялся перевод единиц или радиус Земли.

Земля под орбитой поворачивается

Пока спутник делает виток, Земля под ним вращается с запада на восток: полный оборот за сутки, то есть $360^\circ/24 = 15^\circ$ в час (точнее, оборот – за 23 ч 56 мин, но для задач хватает 15° в час). А плоскость орбиты в пространстве почти не поворачивается. Поэтому каждый следующий виток проходит над Землёй **западнее** предыдущего. МКС за один виток (92,8 мин = 1,547 ч) «отстаёт» на $1,547 \cdot 15 \approx 23^\circ$ долготы. Линию на карте, над которой пролетает спутник, называют **трассой**. На рисунке ниже видно и сдвиг витков, и ещё кое-что: трасса МКС не заходит севернее $51,6^\circ$ широты. Почему – в разделе 4.4.

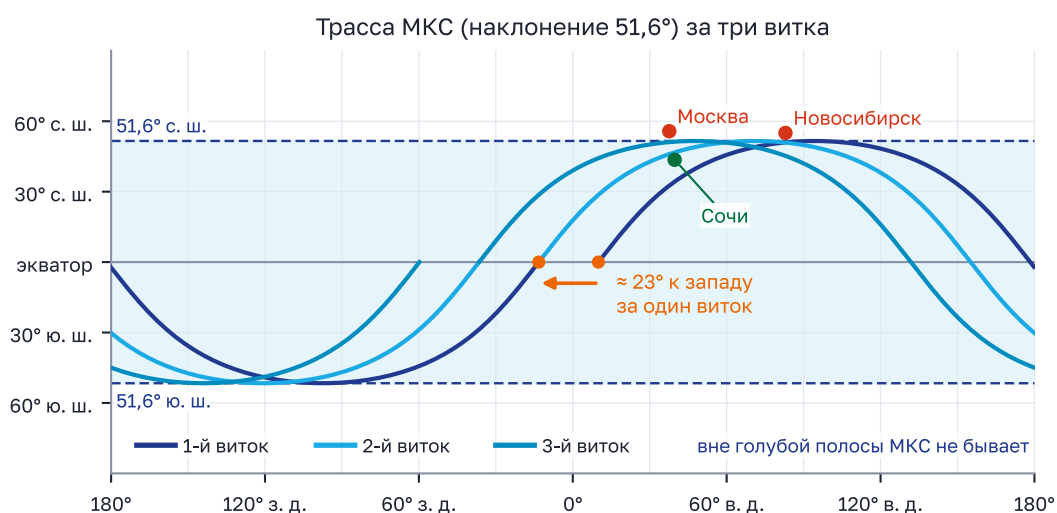


Рисунок 4.4 – Трасса МКС на карте за три витка. Каждый следующий виток сдвинут к западу примерно на 23° . Москва и Новосибирск лежат севернее полосы – прямо над ними МКС не пролетает

4.3. Какие бывают высоты орбит и зачем

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 4.5 – Высоты орбит, если Земля – школьный глобус

Уменьши Землю до глобуса диаметром 32 см. МКС полетит в сантиметре над ним, ГЛОНАСС – в полуметре, а геостационарный спутник – почти в метре.

Таблица 4.1

Орбита	Высота	Один виток
Низкая: МКС	около 400–420 км	около 92 мин
Низкая: спутники ДЗЗ	обычно 500–800 км	около 95–100 мин
Средняя: ГЛОНАСС	19 100 км	11 ч 15 мин
Геостационарная	35 786 км над экватором	23 ч 56 мин

Зачем каждая такая:

- **МКС** – близко к Земле: проще возить экипажи и грузы.
- **Спутники ДЗЗ** (съёмка Земли) – чем ближе, тем подробнее снимки.
- **ГЛОНАСС** – с высоты виден большой кусок Земли; 24 спутника в трёх плоскостях покрывают всю планету.
- **Геостационарные** – спутник «висит» над одной точкой: телевидение, связь, погода.



Рисунок 4.6 – Высоты орбит в масштабе. МКС летает почти «у самой поверхности», геостационар – дальше пяти с половиной радиусов Земли

Слишком низко летать нельзя: даже на высоте 400 км есть очень разреженный воздух. Он немного тормозит станцию, и МКС время от времени поднимают двигателями.

ГЛОНАСС – российская навигационная система. Приёмник в телефоне или в навигаторе школьного автобуса ловит сигналы сразу нескольких спутников и по ним вычисляет, где он находится. Орбиты ГЛОНАСС наклонены к экватору на $64,8^\circ$ (что такое наклонение – в разделе 4.4), поэтому система хорошо работает и на севере России.

Геостационарная орбита

Если спутник на высоте 35 786 км летит над экватором с запада на восток, он делает один оборот за 23 ч 56 мин – ровно за столько же, за сколько Земля поворачивается вокруг своей оси. (А 24 часа – это сутки по Солнцу, они чуть длиннее, потому что Земля ещё и движется вокруг Солнца.) Земля и спутник поворачиваются «в ногу», и с Земли спутник кажется неподвижным. Такую орбиту называют **геостационарной** (ГСО).

Почему только над экватором. Земля тянет спутник к своему **центру**. Поэтому центр любой орбиты – центр Земли, и плоскость любой орбиты проходит через центр Земли. Круг, который шёл бы точно над Новосибирском (над широтой 55°), имел бы центр на оси Земли, высоко над её центром, – так летать нельзя. А если плоскость орбиты проходит через центр, но наклонена к экватору, спутник каждые сутки будет уходить то на север, то на юг и над одной точкой висеть не будет. Остаётся одно: плоскость орбиты совпадает с экватором.

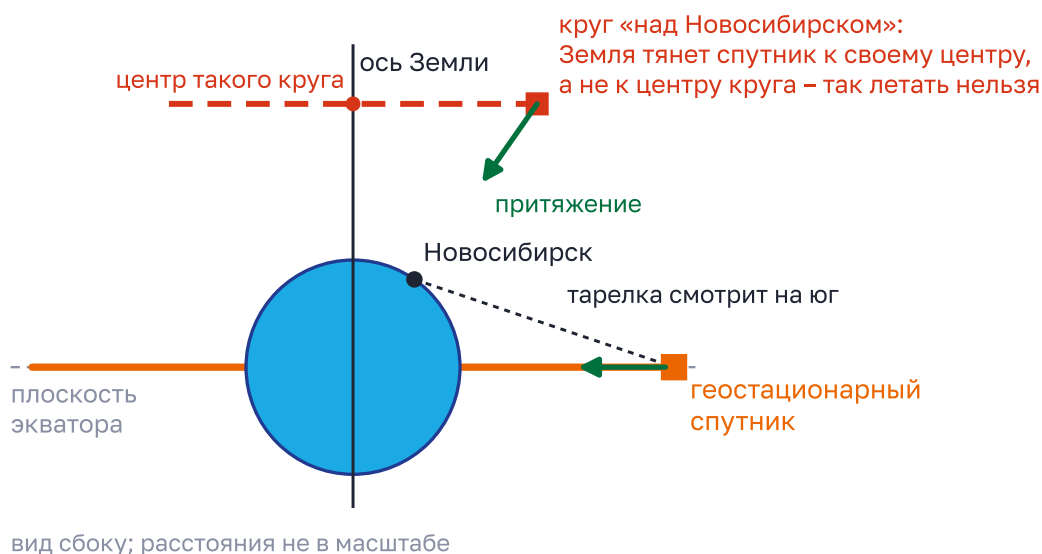


Рисунок 4.7 – Почему геостационарный спутник может висеть только над экватором. Тарелка в Новосибирске смотрит на него на юг

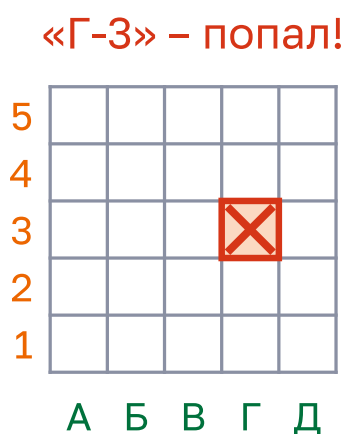
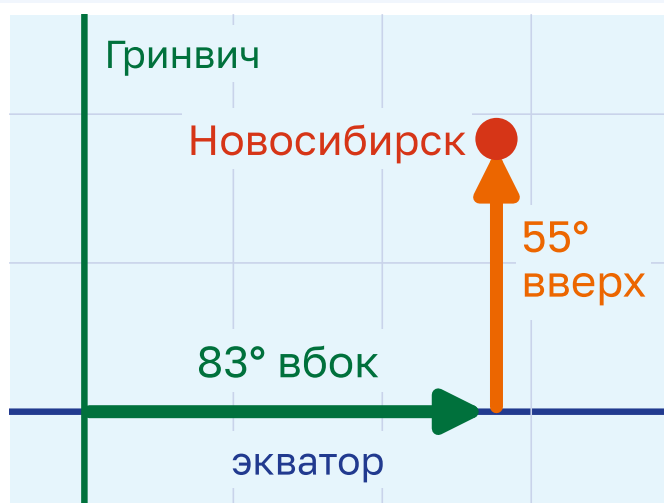
Почему тарелку не надо поворачивать. Спутник для нас стоит на месте, поэтому антенну наводят один раз. Выгляни в окно на соседний дом: все тарелки на балконах смотрят в одну сторону. Из России геостационарные спутники видны в южной половине неба, поэтому тарелки повернуты на юг, юго-восток или юго-запад. Из Новосибирска спутник, стоящий над экватором на той же долготе, виден точно на юге, примерно на 27° над горизонтом. Чем севернее город, тем ниже спутник, а севернее примерно 81° широты его не видно совсем. Для Крайнего Севера используют другие орбиты – например, сильно вытянутые орбиты «Молния».

Зона покрытия. Антенна спутника светит радиоволнами не на всю видимую половину Земли одинаково, а **лучом**, который направляют на нужную страну или область, – как фонарик на кусок стены. В середине пятна сигнал самый сильный, там хватает маленькой тарелки. К краю пятна сигнал слабеет и нужна тарелка побольше, а за краем приёма нет. Поэтому у одного и того же спутника в одной области приём отличный, а в соседней – хуже.

Запомни. «Висеть» над одной точкой спутник может только над экватором, на высоте 35 786 км. Тарелку на такой спутник наводят один раз, из Новосибирска – на юг. Где приём лучше, решает луч антенны спутника, а не то, над кем он «ближе».

4.4. Широта, долгота и наклонение

НА ПАЛЬЦАХ



два числа – и точка на Земле найдена, как клетка в «Морском бое»

Рисунок 4.8 – Широта и долгота – как клетка в «Морском бое»

Широта – на сколько градусов вверх от экватора, долгота – на сколько вбок от Гринвича. Два числа – и точка найдена.

Чтобы сказать, над каким местом летит спутник, нужны координаты.

Широта φ («фи») – угол между направлением из центра Земли на точку и плоскостью экватора. На экваторе широта 0° , на полюсах – 90° . Севернее экватора пишут «с. ш.» (северная широта), южнее – «ю. ш.». Все точки с одной широтой лежат на окружности – **параллели**.

Долгота λ («лямбда») – угол, на который нужно повернуться вокруг оси Земли от нулевого меридиана до меридиана точки. **Меридиан** – линия от полюса до полюса; нулевой проходит через Гринвич (район Лондона). К востоку от него долготы «в. д.» (до 180°), к западу – «з. д.».

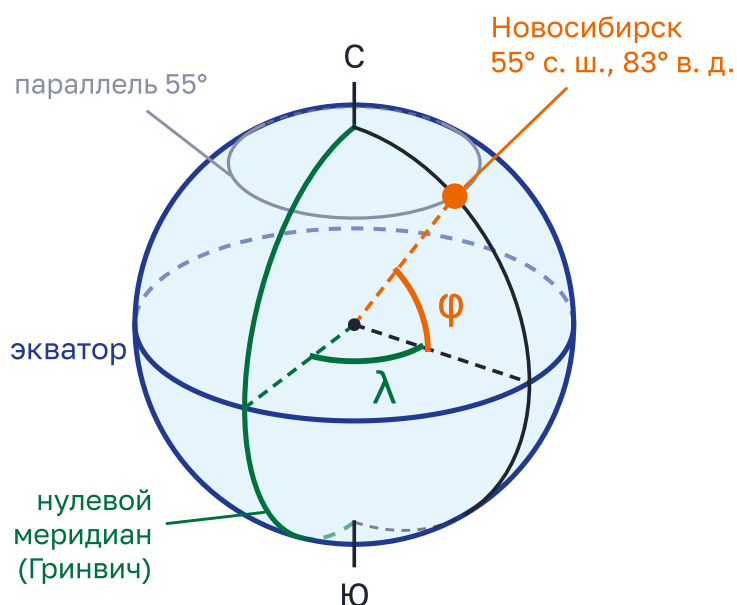


Рисунок 4.9 – Широта φ – угол «вверх» от экватора, долгота λ – угол «вбок» от нулевого меридиана

Координаты некоторых городов (по Википедии):

Таблица 4.2

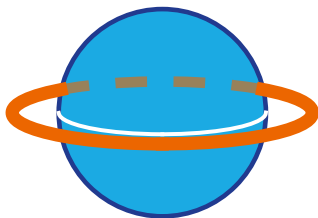
Город	Широта	Долгота
Калининград	54°43′ с. ш. = 54,72°	20°30′ в. д. = 20,50°
Санкт-Петербург	59°57′ с. ш. = 59,95°	30°19′ в. д. = 30,32°
Москва	55°45′ с. ш. = 55,75°	37°37′ в. д. = 37,62°
Новосибирск	55°01′ с. ш. = 55,02°	82°55′ в. д. = 82,92°
Владивосток	43°07′ с. ш. = 43,12°	131°53′ в. д. = 131,88°

Совет. Координаты часто пишут в градусах и минутах: 55°01′. В одном градусе 60 угловых минут, поэтому $55^{\circ}01' = 55 + 1/60 = 55,02^{\circ}$, а $82^{\circ}55' = 82 + 55/60 = 82,92^{\circ}$. Калькулятор и «Компас-3D» понимают только десятичную запись – переводите сразу.

Наклонение орбиты

НА ПАЛЬЦАХ

обруч ровно: $i = 0^\circ$



летит только
над экватором

обруч наискосок: $i = 50^\circ$

выше красной
линии – никогда



трасса «качается» между i с. ш. и i ю. ш.

Рисунок 4.10 – Орбита – обруч, надетый на Землю

Наклони обруч на 50° – и трасса спутника будет доходить до 50° с. ш. и 50° ю. ш., но не дальше.

Плоскость орбиты всегда проходит через центр Земли, но может быть повернута относительно экватора. **Наклонение i** – угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора.

- $i = 0^\circ$ – **экваториальная** орбита: спутник летит только над экватором (так летают геостационарные).
- $i = 51,6^\circ$ – МКС. Её трасса «качается» между $51,6^\circ$ с. ш. и $51,6^\circ$ ю. ш.
- i около 90° – **полярная** орбита: спутник пролетает над полюсами, а Земля поворачивается под ним, так что за несколько суток он проходит над всеми точками планеты.
- **Солнечно-синхронная** орбита – почти полярная (наклонение немного больше 90° , спутник летит чуть-чуть навстречу вращению Земли). Её подбирают так, чтобы спутник проходил над каждым местом в одно и то же местное время, например всегда около 10 утра. Для съёмки Земли это удобно: освещение на снимках одинаковое.

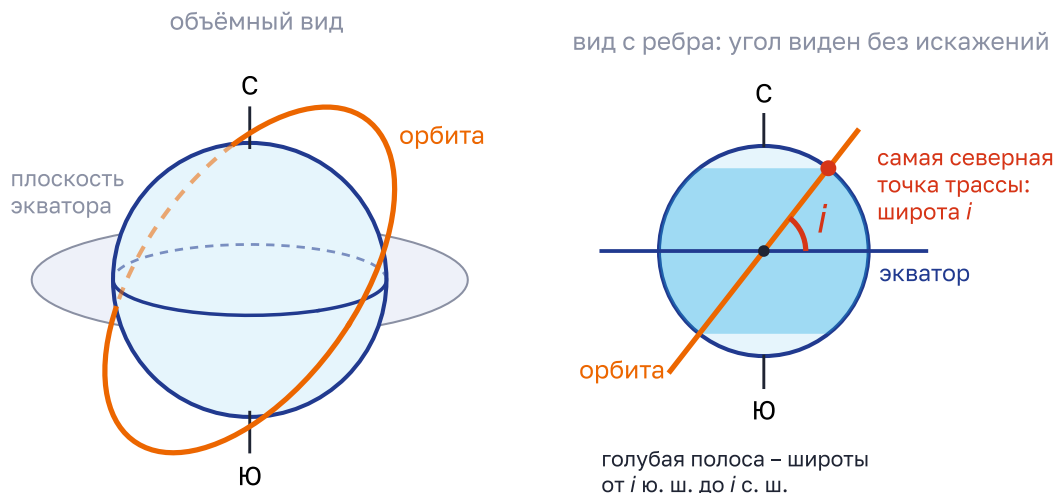


Рисунок 4.11 – Наклонение орбиты i – угол между плоскостью орбиты и плоскостью экватора. Справа – вид «с ребра»: самая северная точка трассы лежит на широте i

Отсюда правило: спутник с наклонением i (от 0° до 90°) пролетает **только над широтами от i ю. ш. до i с. ш.** Самая северная точка его трассы – на широте ровно i . Если наклонение больше 90° , граница – $180^\circ - i$.

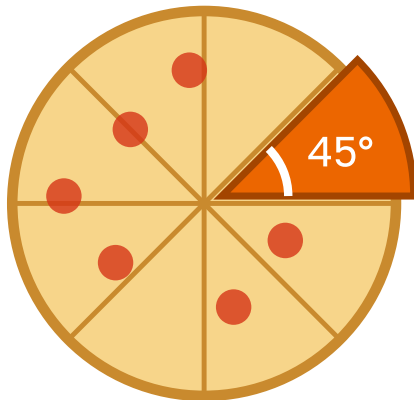
Поэтому МКС ($i = 51,6^\circ$) **никогда** не проходит прямо над Москвой ($55,75^\circ$) и Новосибирском ($55,02^\circ$). Увидеть её отсюда можно: летним вечером над Новосибирском она выглядит как яркая звёздочка, которая за несколько минут проползает по небу. Но проползает сбоку, а не в зените («прямо над головой»).

Ещё одно следствие. Ракета, которая стартует с космодрома на широте φ , без дорогих манёвров выводит спутник на наклонение не меньше φ – ведь космодром должен лежать на трассе. Для геостационара нужно наклонение 0° , поэтому такие запуски выгоднее с космодромов ближе к экватору (там ещё и вращение Земли сильнее подталкивает ракету).

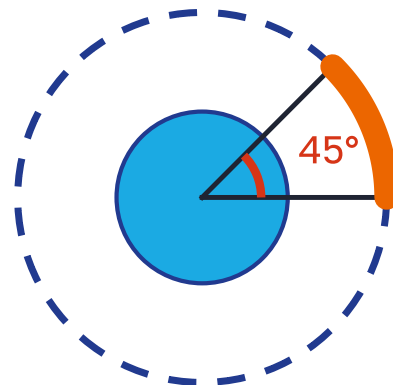
Запомни. $1^\circ = 60'$, поэтому $55^\circ 01' = 55,02^\circ$. Широта отсчитывается от экватора, долгота – от Гринвича. Трасса спутника с наклонением i не заходит дальше i с. ш. и i ю. ш.: у МКС граница – $51,6^\circ$, а Новосибирск на 55° .

4.5. Пролетая над двумя городами: центральный угол

НА ПАЛЬЦАХ



45° – это 1/8 пиццы



1/8 витка – 1/8 времени:
96 мин : 8 = 12 мин

Рисунок 4.12 – Кусок витка – такой же кусок времени

45° – восьмая часть круга. Пролетел восьмую часть витка – потратил восьмую часть периода.

Задача, которая встречается на отборе: спутник на низкой круговой орбите на одном витке пролетел прямо над одним городом, а потом – над другим. Что-то известно (время между пролётами или период), что-то нужно найти.

Вращением Земли в таких задачах пренебрегают: за несколько минут пролёта она успеваает повернуться лишь на 1–2°. Тогда оба города лежат **под орбитой**, а плоскость орбиты проходит через три точки: центр Земли и два города.

Центральный угол θ («тэта») – угол между двумя радиусами Земли, проведёнными из центра к двум городам. Весь виток – это 360°, поэтому путь от одного города до другого – доля витка $\theta/360^\circ$. Спутник летит равномерно, значит, и время – та же доля периода:

$$\frac{t}{T} = \frac{\theta}{360^\circ}, \quad t = T \cdot \frac{\theta}{360^\circ}, \quad T = t \cdot \frac{360^\circ}{\theta}.$$

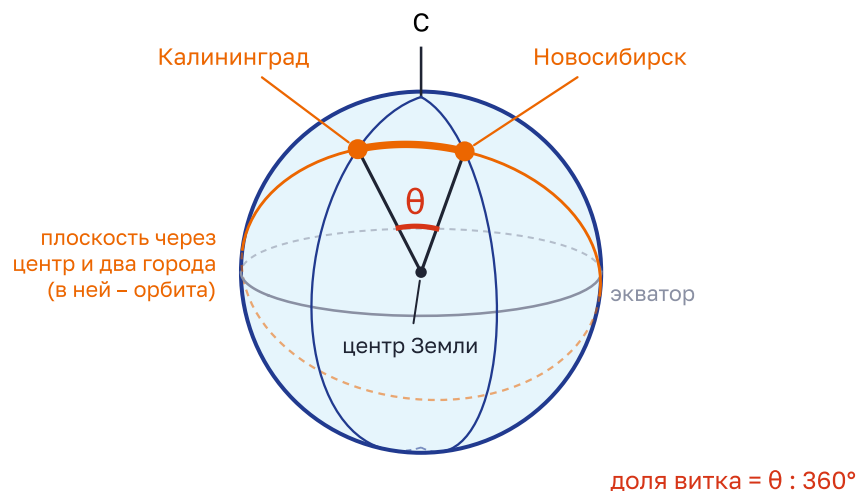


Рисунок 4.13 – Два города на одном витке. Угол θ между радиусами к городам – та часть витка, которую спутник пролетел от одного города до другого

Самое трудное – найти θ . Разность долгот для этого не годится: она отсчитывается вокруг **оси** Земли, а нам нужен угол из **центра**. Поэтому угол строят в «Компас-3D». Дальше читай с открытым «Компасом» и сразу повторяй каждый шаг – в голове эту конструкцию не удержать.

Строим центральный угол в «Компас-3D»

Строим в модели два отрезка-радиуса, направленных на города, а угол между ними пусть измерит программа. Масштаб удобный: 1 мм модели = 1 км. Начало координат – центр Земли, ось Y – ось Земли (вверх – на Северный полюс), плоскость ZX – плоскость экватора.

1. Создай новую деталь.
2. **Первый город.** Создай эскиз на плоскости XY. Командой «Спроецировать объект» укажи ось Y – в эскизе появится вспомогательная прямая (это ось Земли). Начерти отрезок из начала координат длиной 6371 мм. Поставь «Угловой размер» между отрезком и осью Y, равный $90^\circ - \varphi_1$ (угол от Северного полюса). Для Калининграда $90 - 54,72 = 35,28^\circ$. Выйди из эскиза.
3. **Плоскость второго города.** Командой «Плоскость под углом к другой плоскости» построй плоскость, которая проходит через ось Y и повернута относительно плоскости XY на угол, равный **разности долгот** $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$. Для Калининграда и Новосибирска $82,92 - 20,50 = 62,42^\circ$. Сами долготы не нужны – важна только разность.
4. **Второй город.** На новой плоскости создай эскиз и так же, как в шаге 2, начерти отрезок 6371 мм под углом $90^\circ - \varphi_2$ к оси Y (для Новосибирска $90 - 55,02 = 34,98^\circ$). Отрезок проводи в ту же сторону от оси Y, в какую смотрит первый отрезок, а не в противоположную.
5. **Измерение.** Командой «Расстояние и угол» (панель «Диагностика») укажи два отрезка. Программа покажет угол между ними – это и есть θ . Для Калининграда и Новосибирска получится около $34,7^\circ$.

Теперь посмотри на модель сверху, с конца оси Y: на этом виде угол между отрезками должен совпасть с разностью долгот. Если он равен 180° минус эта разность, второй отрезок ушёл по другую сторону оси Y – переставь его.

Проверь свою модель по готовым углам (посчитаны заранее):

Таблица 4.3

Пара городов	Разность долгот	Центральный угол θ
Калининград – Новосибирск	62,42°	34,7°
Москва – Новосибирск	45,30°	25,3°
Калининград – Москва	17,12°	9,8°

Видишь: центральный угол всегда меньше разности долгот. Вдали от экватора параллели короткие, и города, далёкие «по долготе», из центра Земли видны под небольшим углом.

Наклонение по двум городам находится в той же модели. Командой «Плоскость через три вершины» построй плоскость через начало координат и концы двух отрезков – это плоскость орбиты. Затем «Расстоянием и углом» измерь угол между этой плоскостью и плоскостью ZX (экватором) – это наклонение i . Разбор – в задаче 4.6.

Запомни. Спутник пролетел над двумя городами на одном витке: $t/T = \theta/360^\circ$. Здесь θ – угол между радиусами к городам из центра Земли, а не разность долгот. В «Компасе» это угол между двумя отрезками по 6371 мм, проведёнными под углами $90^\circ - \varphi$ к оси Земли.

4.6. Тень Земли

НА ПАЛЬЦАХ

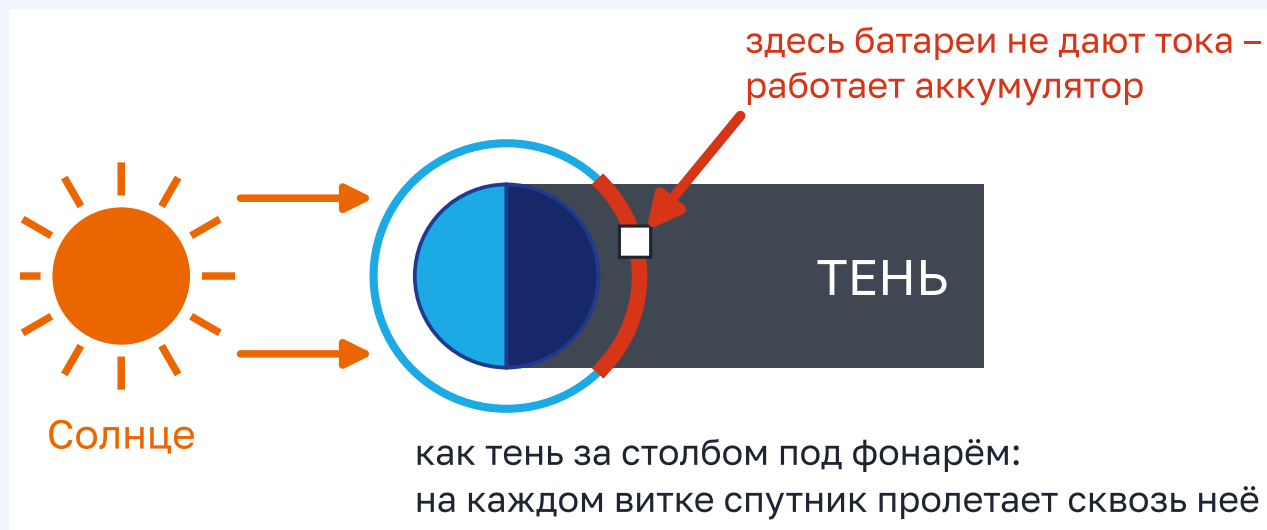


Рисунок 4.14 – Тень Земли

За Землёй тянется тень, как за столбом под фонарём. На каждом витке спутник пролетает сквозь неё, и солнечные батареи на это время перестают давать ток.

Солнце освещает Землю с одной стороны, и за ней остаётся **тень**. Солнце очень далеко, его лучи почти параллельны, поэтому тень похожа на длинный цилиндр толщиной с Землю. Спут-

ник на низкой орбите на каждом витке ныряет в эту тень и выныривает из неё. В тени солнечные батареи не дают тока, и всё питание идёт от аккумулятора (про энергию – глава 8). Поэтому конструкторам важно знать, **сколько минут** длится тень. Расчёт того, когда спутник на свету, а когда в тени, называют **светотеневой обстановкой**.

Простое правило из учебных задач. Часто пишут: «спутник половину витка летит в тени». Тогда время в тени – $T/2$. Это грубо, но **с запасом**: настоящая тень короче, так что аккумулятора, рассчитанного на полвитка, точно хватит. Если в условии сказано «половину витка» – считай по условию.

Как на самом деле. Возьмём самый «тёмный» случай: Солнце лежит в плоскости орбиты. Посмотрим на орбиту сверху. Тень – полоса шириной $2R$ за Землёй. Спутник входит в неё и выходит там, где круг орбиты пересекает край полосы. Угол α – между линией «центр Земли – от Солнца» и радиусом к точке выхода. В тени спутник проходит дугу 2α , а время в тени – та же доля периода:

$$t_{\text{тень}} = T \cdot \frac{2\alpha}{360^\circ}.$$

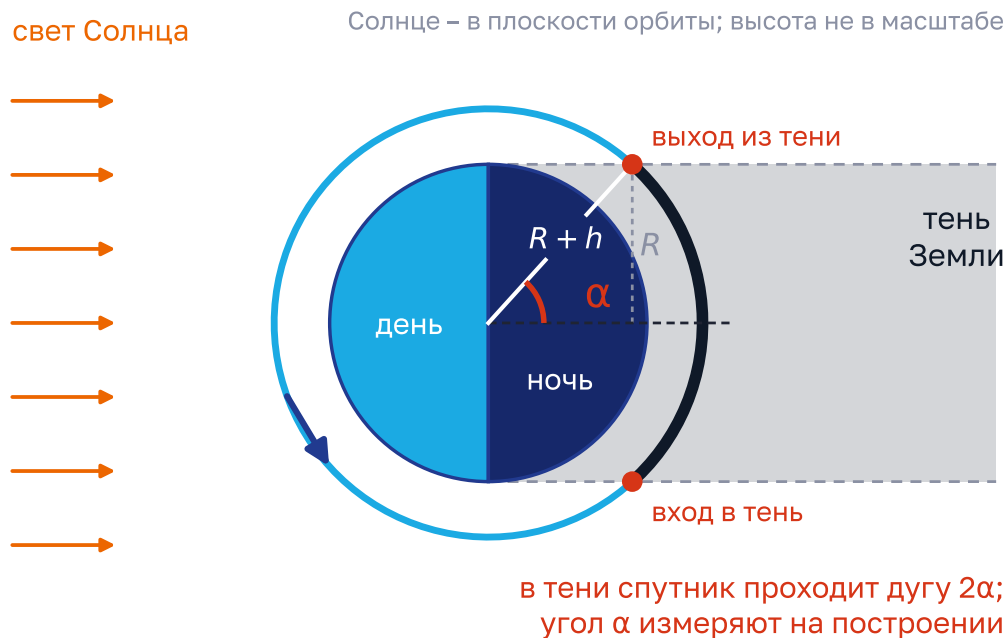


Рисунок 4.15 – Тень Земли на витке. В тени спутник проходит дугу 2α . Точка выхода из тени лежит на расстоянии R от линии «центр Земли – от Солнца»

Как найти α – построением. Эскиз в «Компас-3D», 1 мм = 1 км:

1. Окружность радиусом 6371 мм с центром в начале координат – Земля.
2. Окружность радиусом $R + h$ с тем же центром – орбита (для МКС $6371 + 420 = 6791$ мм).
3. Горизонтальный отрезок из центра вправо – линия «от Солнца» (свет идёт слева направо).
4. Горизонтальная вспомогательная прямая на 6371 мм выше центра – край тени.
5. Отрезок из центра в точку, где край тени пересекает орбиту справа. «Угловой размер» между этим отрезком и горизонтальным покажет α .

Для МКС получается $\alpha \approx 69,7^\circ$. В тени – дуга $2 \cdot 69,7 = 139,5^\circ$ из 360° , то есть $92,8 \cdot 139,5/360 \approx 36$ минут из 93. Меньше половины витка – правило «половина» и правда с запасом.

Для низких орбит всё уже посчитано. Умножь период на долю из таблицы – получишь минуты в тени (Солнце в плоскости орбиты):

Таблица 4.4

Высота орбиты	Дуга в тени 2α	Доля витка в тени
300 км	$145,5^\circ$	0,404
400 км	$140,4^\circ$	0,390
600 км	$132,1^\circ$	0,367
800 км	$125,4^\circ$	0,348
1000 км	$119,6^\circ$	0,332

Чем выше орбита, тем меньше доля: издалека Земля кажется меньше и заслоняет Солнце на более короткой дуге.

Если Солнце светит под углом к плоскости орбиты, тень ещё короче, а бывают орбиты, где спутник месяцами летит вообще без тени. У геостационарных спутников тень бывает только в недели около весеннего и осеннего равноденствия, не дольше примерно 70 минут в сутки – в остальное время Земля «не заслоняет» им Солнце.

Запомни. Время в тени = период $\times$ доля витка в тени. На низких орбитах в тени от трети до 40 % витка, у МКС – около 36 минут из 93. Правило «половина витка в тени» даёт запас, а не точный ответ.

4.7. Разбираем задачи

Задача 4.1 Один виток МКС

разминка · период обращения, радиус орбиты, перевод единиц

МКС летит по круговой орбите на высоте 420 км со скоростью 7,66 км/с. Сколько минут длится один виток? Радиус Земли 6371 км. Округли до десятых.

Дано: $h = 420$ км; $v = 7,66$ км/с; $R = 6371$ км.

Найти: T – ? (в минутах)

Решение

Шаг 1. Радиус орбиты. Спутник летит вокруг **центра** Земли:

$$r = R + h = 6371 + 420 = 6791 \text{ км.}$$

Шаг 2. Длина одного витка. Длина окружности: $L = 2\pi r = 2 \cdot 3,14159 \cdot 6791 = 42\,669$ км.

Шаг 3. Время витка в секундах. $T = L/v = 42\,669/7,66 = 5570$ с. Километры делим на километры в секунду – получаются секунды.

Шаг 4. Перевод в минуты. $5570/60 = 92,83 \approx 92,8$ мин.

Полтора часа с небольшим – и в справочнике у МКС около 92 минут на виток.

❗ **Ошибка номер один** – подставить в формулу высоту вместо радиуса:
 $2\pi \cdot 420/7,66 = 344$ с – меньше шести минут на облёт Земли. Так не бывает: к высоте обязательно прибавляют радиус Земли. А ещё секунды забывают поделить на 60 и отвечают «5570 минут».

Ответ: 92,8 мин.

Своя задача по программе сферы, модуль 1

Реши сам

4.1. Спутник летает на высоте 550 км со скоростью 7,58 км/с. Найди период обращения в минутах, округли до целых.

4.2. Спутник ГЛОНАСС летит на высоте 19 100 км со скоростью 3,95 км/с. Найди период обращения в часах и минутах (минуты округли до целых).

Задача 4.2 Телевидение для Сибири

геостационарная орбита, зона покрытия, выбор утверждений

Телевизионный спутник круглые сутки показывает телевидение почти на всю Сибирь. Лучше всего приём в Новосибирской и Томской областях, а на Чукотке для того же сигнала нужна тарелка заметно большего диаметра. Выбери **все** верные утверждения.

- **А.** Спутник всё время находится прямо над Новосибирском.
- **Б.** Спутник находится над точкой экватора, на высоте около 36 тысяч км.
- **В.** Спутник облетает Землю за полтора часа.
- **Г.** Тарелку в Новосибирске достаточно один раз направить на спутник – дальше поворачивать её не нужно.
- **Д.** В Новосибирской области приём лучше, потому что антенна спутника направляет самый сильный луч именно туда.
- **Е.** Приём лучше там, где спутник чаще пролетает над головой.

Дано: спутник показывает телевидение круглые сутки; тарелки на Земле неподвижны; в разных областях качество приёма разное.

Найти: все верные утверждения.

Решение

Шаг 1. Какая это орбита. Спутник обслуживает одну и ту же территорию **круглые сутки**, а тарелки у зрителей не вертятся за ним. Значит, для Земли спутник стоит на месте – он геоста-

ционарный: 35 786 км (около 36 тысяч км) над экватором. **Б – верно, Г – верно.**

Шаг 2. А. «Висеть» можно только над экватором (раздел 4.3): плоскость любой орбиты проходит через центр Земли. Новосибирск на широте 55°, поэтому **А – неверно.**

Шаг 3. В. Полтора часа – это виток низкой орбиты, как у МКС. Такой спутник через несколько минут уходил бы за горизонт. Геостационарный делает оборот за 23 ч 56 мин. **В – неверно.**

Шаг 4. Д и Е. Геостационарный спутник ни над кем не «пролетает» – он стоит на месте, так что **Е неверно.** Разница в приёме – из-за луча: антенна спутника направлена на выбранную область, в центре пятна сигнал сильнее, к краям слабее (и там нужна тарелка побольше). **Д – верно.**

 **Чаше всего** попадают на А: «лучше всего видно в Новосибирске – значит, спутник над Новосибирском». Сигнал лучше не там, где спутник «над головой», а там, куда направлен его луч. Над Новосибирском геостационарный спутник быть не может.

Ответ: Б, Г, Д.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Телетрансляционный спутник»

Реши сам

4.3. Почему геостационарный спутник кажется с Земли неподвижным? Выбери верный ответ. А) На высоте 35 786 км нет притяжения Земли, и спутник просто стоит. Б) Он летит над экватором и делает оборот за то же время, за которое поворачивается Земля. В) Его держат включённые двигатели. Г) Он висит над Северным полюсом.

4.4. Геостационарный спутник стоит над экватором на той же долготе, что и Новосибирск. Куда нужно направить тарелку в Новосибирске? А) на север; Б) на юг; В) прямо вверх, в зенит; Г) на восток и поворачивать за спутником в течение дня.

Задача 4.3 Витки и сдвиг трассы

период, витки в сутки, вращение Земли

Спутник съёмки Земли летает по круговой орбите на высоте 600 км со скоростью 7,55 км/с. Найди: а) период в минутах (до десятых); б) сколько витков он делает за сутки (до десятых); в) на сколько градусов долготы к западу сдвигается трасса за один виток (Земля поворачивается на 15° в час; до десятых).

Дано: $h = 600$ км; $v = 7,55$ км/с; $R = 6371$ км; Земля поворачивается на 15° в час.

Найти: T , N , сдвиг $\Delta\lambda$ – ?

Решение

Шаг 1. Радиус и длина витка. $r = 6371 + 600 = 6971$ км; $L = 2\pi \cdot 6971 = 43\,800$ км.

Шаг 2. Период. $T = 43\,800 / 7,55 = 5801$ с; $5801 / 60 = 96,7$ мин.

Шаг 3. Витков в сутки. В сутках 1440 мин: $N = 1440 / 96,7 = 14,9$ витка.

Шаг 4. Сдвиг трассы. Период в часах: $96,7/60 = 1,611$ ч. За это время Земля повернётся на $1,611 \cdot 15 = 24,2^\circ$. На столько и «отстаёт» к западу следующий виток.

Сравним с МКС. Орбита выше – и виток чуть дольше (96,7 против 92,8 мин), витков в сутки чуть меньше (14,9 против 15,5), а сдвиг чуть больше (24° против 23°). Все три числа отошли от МКС туда, куда и должны.

❗ **Подвох в пункте «в».** Умножишь 15° на период в минутах – получишь $96,7 \cdot 15 = 1450^\circ$, больше четырёх полных оборотов Земли за полтора часа. Скорость поворота дана «в час», значит, и время нужно в часах.

Ответ: а) 96,7 мин; б) 14,9 витка; в) $24,2^\circ$ к западу.

Своя задача по программе сферы, модуль 1

Реши сам

4.5. Один виток спутника длится 90 минут. Сколько витков он делает за сутки?

4.6. Период спутника 100 минут. На сколько градусов долготы к западу сдвигается его трасса за один виток (Земля поворачивается на 15° в час)?

Задача 4.4 Над кем пролетит МКС

наклонение орбиты, широта

Наклонение орбиты МКС – $51,6^\circ$. Над какими из городов МКС может пролететь **точно над головой** (в зените)? Выбери все подходящие.

А. Сочи ($43,59^\circ$ с. ш.). **Б.** Москва ($55,75^\circ$ с. ш.). **В.** Астрахань ($46,33^\circ$ с. ш.). **Г.** Новосибирск ($55,02^\circ$ с. ш.). **Д.** Мурманск ($68,97^\circ$ с. ш.). **Е.** Владивосток ($43,12^\circ$ с. ш.).

Дано: $i = 51,6^\circ$; широты шести городов.

Найти: города, над которыми может пройти трасса.

Решение

Шаг 1. Правило. Спутник с наклонением i пролетает только над широтами от i ю. ш. до i с. ш. У МКС – до $51,6^\circ$ с. ш.

Шаг 2. Сравниваем. Сочи $43,59^\circ < 51,6^\circ$ – да. Москва $55,75^\circ > 51,6^\circ$ – нет. Астрахань $46,33^\circ < 51,6^\circ$ – да. Новосибирск $55,02^\circ > 51,6^\circ$ – нет. Мурманск $68,97^\circ$ – нет. Владивосток $43,12^\circ$ – да.

Шаг 3. А долгота? Долгота тут не мешает: Земля вращается, трасса каждый виток сдвигается на запад и со временем проходит через все долготы. Ограничивает только широта.

Загляни в рисунок трассы МКС в разделе 4.2: Сочи внутри голубой полосы, а Москва и Новосибирск – выше неё.

⚠ Типичная ошибка. Решить, что МКС «не видна» из Москвы и Новосибирска. Видна, и часто – сбоку, над горизонтом. Не бывает только пролёта **точно над головой**. Путают и наоборот: думают, что спутник с наклоном $51,6^\circ$ летает только над широтой $51,6^\circ$. Нет: его трасса «качается» от $51,6^\circ$ ю. ш. через экватор до $51,6^\circ$ с. ш.

Ответ: А, В, Е (Сочи, Астрахань, Владивосток).

Своя задача по программе сферы, модуль 1

Реши сам

4.7. Наклонение орбиты спутника 65° . До какой самой северной широты доходит его трасса? Пролетит ли он когда-нибудь прямо над Мурманском ($68,97^\circ$ с. ш.)?

4.8. Наклонение орбиты спутника 45° . Над какими городами он может пролететь точно над головой? А) Сочи ($43,59^\circ$ с. ш.). Б) Астрахань ($46,33^\circ$ с. ш.). В) Владивосток ($43,12^\circ$ с. ш.). Г) Новосибирск ($55,02^\circ$ с. ш.).

Задача 4.5 От Калининграда до Новосибирска

центральный угол, доля витка, период, «Компас-3D»

Спутник на низкой круговой орбите на одном витке пролетел прямо над Калининградом ($54,72^\circ$ с. ш., $20,50^\circ$ в. д.), а через 9 минут – прямо над Новосибирском ($55,02^\circ$ с. ш., $82,92^\circ$ в. д.). Найди период обращения спутника. Вращением Земли за эти минуты пренебречь. Ответ в минутах, округли до целых.

Дано: $\varphi_1 = 54,72^\circ$, $\lambda_1 = 20,50^\circ$; $\varphi_2 = 55,02^\circ$, $\lambda_2 = 82,92^\circ$; $t = 9$ мин.

Найти: T – ?

Решение

Шаг 1. Что происходит. Оба города лежат под одним витком. Путь между ними – дуга орбиты с центральным углом θ . За 9 минут спутник пролетел долю витка $\theta/360^\circ$. Сначала находим θ .

Шаг 2. Центральный угол в «Компас-3D». Строим по шагам из раздела 4.5: отрезок 6371 мм на плоскости XY под углом $90 - 54,72 = 35,28^\circ$ к оси Y (Калининград); плоскость под углом $82,92 - 20,50 = 62,42^\circ$ к плоскости XY через ось Y; на ней отрезок под углом $90 - 55,02 = 34,98^\circ$ к оси Y (Новосибирск). «Расстояние и угол» между отрезками: $\theta \approx 34,7^\circ$. Это число есть в таблице проверки из раздела 4.5 – модель построена верно.

Шаг 3. Доля витка. $34,7/360 = 0,0964$ – меньше десятой части витка.

Шаг 4. Период. $T = t \cdot 360^\circ / \theta = 9 \cdot 360 / 34,7 = 93,4$ мин ≈ 93 мин.

93 минуты – обычный период низкой орбиты, почти как у МКС. С неверным углом вышла бы ерунда – смотри ниже.

❗ **Самая соблазнительная ошибка** – взять за угол просто разность долгот: $62,42^\circ$. Тогда $T = 9 \cdot 360 / 62,42 = 52$ мин – быстрее, чем может летать любой спутник Земли (даже у самой поверхности виток длится около 84 минут). Разность долгот – это поворот вокруг **оси** Земли, а центральный угол отсчитывается из **центра** Земли. А в «Компасе» чаще всего ставят отрезки под углом φ к оси Y вместо $90^\circ - \varphi$.

Ответ: 93 мин.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Пролетая над Мадридом... (Орбитальный период)»

Реши сам

4.9. Спутник с периодом 99 минут пролетел над двумя городами, центральный угол между которыми 40° . Сколько минут прошло между пролётами?

4.10. Спутник на одном витке пролетел над Мурманском, а через 7 минут – над Сочи. В «Компас-3D» измерили центральный угол между городами: $25,6^\circ$. Найди период спутника в минутах, округли до целых. Вращением Земли пренебечь.

4.11.* Спутник с периодом 94 минуты пролетел прямо над Москвой ($55,75^\circ$ с. ш., $37,62^\circ$ в. д.), а затем на том же витке – над Владивостоком ($43,12^\circ$ с. ш., $131,88^\circ$ в. д.). Сколько минут прошло между пролётами? Центральный угол построй в «Компас-3D». Вращением Земли пренебечь. Ответ округли до целых.

Задача 4.6* Наклонение по двум городам

наклонение орбиты, плоскость орбиты, «Компас-3D»

Спутник на низкой круговой орбите на одном витке пролетел прямо над Санкт-Петербургом ($59,95^\circ$ с. ш., $30,32^\circ$ в. д.), а затем – над Новосибирском ($55,02^\circ$ с. ш., $82,92^\circ$ в. д.). Найди наклонение орбиты. Вращением Земли пренебечь. Ответ в градусах, округли до целых.

Дано: $\varphi_1 = 59,95^\circ$, $\lambda_1 = 30,32^\circ$; $\varphi_2 = 55,02^\circ$, $\lambda_2 = 82,92^\circ$.

Найти: i – ?

Решение

Шаг 1. План. Плоскость орбиты проходит через центр Земли и оба города. Наклонение – угол между этой плоскостью и плоскостью экватора. Значит, нужно построить плоскость орбиты и измерить её угол с экватором.

Шаг 2. Два радиуса-отрезка. Строим, как в задаче 4.5. Эскиз на плоскости XY: отрезок 6371 мм под углом $90 - 59,95 = 30,05^\circ$ к оси Y (Петербург). «Плоскость под углом к другой плоскости» через ось Y , повернутая на разность долгот $82,92 - 30,32 = 52,60^\circ$. На ней эскиз: отрезок 6371 мм под углом $90 - 55,02 = 34,98^\circ$ к оси Y (Новосибирск).

Шаг 3. Плоскость орбиты. Командой «Плоскость через три вершины» строим плоскость через начало координат (центр Земли) и свободные концы двух отрезков (города).

Шаг 4. Измеряем. «Расстояние и угол» между плоскостью орбиты и плоскостью ZX (экватором) даёт $i \approx 60,9^\circ$. Если программа показала $119,1^\circ$, возьми $180 - 119,1 = 60,9^\circ$: спутник летел с запада на восток (от Петербурга к Новосибирску), а у таких орбит наклонение меньше 90° .

Наклонение вышло больше широты Петербурга ($59,95^\circ$) – меньше и не могло: оба города лежат на трассе, а трасса выше широты i не поднимается. Заодно видно, что орбита – не параллель: оба города около $55\text{--}60^\circ$, а трасса между ними выгибается к северу, до $60,9^\circ$.

Для любопытных. Без «Компаса» наклонение можно посчитать с помощью векторов – это математика 9–11 класса, но по готовому рецепту её можно пройти на калькуляторе с кнопками $\sin$, $\cos$ и $\cos^{-1}$ (в режиме градусов, DEG; проверь: $\sin 30^\circ$ должен дать 0,5).

Каждый город – «стрелка» из центра Земли длиной 1 с координатами $x = \cos \varphi \cdot \cos \lambda$, $y = \cos \varphi \cdot \sin \lambda$, $z = \sin \varphi$ (ось z – к Северному полюсу, плоскость xy – экватор). Петербург: (0,4323; 0,2528; 0,8656), Новосибирск: (0,0707; 0,5689; 0,8194).

Стрелку n , перпендикулярную плоскости орбиты, даёт **векторное произведение**:

$$n_x = y_1 z_2 - z_1 y_2 = -0,2853, n_y = z_1 x_2 - x_1 z_2 = -0,2930,$$

$$n_z = x_1 y_2 - y_1 x_2 = 0,2280. \text{ Её длина } |n| = \sqrt{0,2853^2 + 0,2930^2 + 0,2280^2} = 0,4682.$$

Угол между плоскостями равен углу между их перпендикулярами – n и осью z :

$$\cos i = n_z / |n| = 0,2280 / 0,4682 = 0,4870, i = \cos^{-1} 0,4870 \approx 60,9^\circ \text{ – как в «Компасе»}.$$

⚠ Типичная ошибка. Ответить «наклонение равно широте одного из городов» (60° или 55°). Трасса проходит через города «наискосок», и самая северная её точка обычно лежит между ними, севернее обоих. И смотри, с чем меряешь угол в «Компасе»: нужна плоскость ZX (экватор), а не XY. В XY лежит ось Земли, это плоскость меридиана Петербурга, и получится около $76,6^\circ$ – совсем другое число.

Ответ: 61° .

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Пролетая над Парижем... (Наклонение орбиты)»

Реши сам

4.12. Спутник на одном витке пролетел прямо над Москвой ($55,75^\circ$ с. ш., $37,62^\circ$ в. д.), а затем – над Владивостоком ($43,12^\circ$ с. ш., $131,88^\circ$ в. д.). Какое из чисел может быть наклонением его орбиты? Строить модель не нужно. Вращением Земли пренебречь. А) 43° ; Б) $51,6^\circ$; В) 55° ; Г) 61° .

4.13.* Найди наклонение орбиты спутника из задачи 4.5 (Калининград → Новосибирск): дострой в модели из этой задачи плоскость орбиты. Ответ в градусах, округли до целых.

Задача 4.7* Сколько минут в тени

тень Земли, светотеневая обстановка, построение угла

Пикоспутник летает по круговой орбите на высоте 500 км, один виток – 95 минут. Солнце лежит в плоскости орбиты. Сколько минут на каждом витке спутник проводит в тени Земли? Сравни с правилом «половина витка в тени». Тень считай цилиндром толщиной с Землю. Ответ округли до целых минут.

Дано: $h = 500$ км; $R = 6371$ км; $T = 95$ мин.

Найти: $t_{\text{тень}}$ – ?

Решение

Шаг 1. Где тень. Спутник в тени, пока летит за Землёй в полосе шириной $2R$. Точки входа и выхода – там, где орбита пересекает край полосы (рисунок в разделе 4.6). Высоты 500 км в таблице раздела 4.6 нет, поэтому угол строим сами.

Шаг 2. Радиус орбиты. $R + h = 6371 + 500 = 6871$ км.

Шаг 3. Угол α построением. Эскиз в «Компас-3D», 1 мм = 1 км: окружность 6371 мм (Земля), окружность 6871 мм (орбита), горизонтальный отрезок из центра вправо (линия «от Солнца»), горизонтальная вспомогательная прямая на 6371 мм выше центра (край тени). Отрезок из центра в точку пересечения края тени с орбитой и «Угловой размер» между ним и горизонтальным отрезком: $\alpha \approx 68,0^\circ$.

Шаг 4. Дуга в тени. $2\alpha = 2 \cdot 68,0 = 136,0^\circ$. Доля витка: $136,0/360 = 0,378$.

Шаг 5. Время. $t_{\text{тень}} = 95 \cdot 0,378 = 35,9 \approx 36$ мин.

Шаг 6. Сравнение. По правилу «половина витка» было бы $95/2 = 47,5$ мин – на 11–12 минут больше.

Сверим с таблицей раздела 4.6: для 400 км доля 0,390, для 600 км – 0,367. Наши 500 км посередине, и доля 0,378 тоже легла между ними. Правило «половина витка» даёт запас: аккумулятор, посчитанный на 47,5 мин тени, точно справится с 36.

Для любопытных. Угол можно найти и без «Компаса». В прямоугольном треугольнике на рисунке раздела 4.6 гипотенуза – радиус орбиты $R + h$, а катет напротив угла α равен R . Отношение такого катета к гипотенузе называют **синусом** угла (его проходят в 8–9 классе):
 $\sin \alpha = 6371/6871 = 0,9272$. Кнопка $\sin^{-1}$ (arcsin) на калькуляторе в режиме градусов даёт $\alpha = 68,0^\circ$ – как на построении.

❗ **Частый промах в эскизе** – окружность орбиты радиусом 500 мм, по высоте, а не по радиусу орбиты. Она окажется внутри Земли, и край тени её вообще не пересечёт. Вторая ошибка – забыть удвоить угол: α – только половина дуги тени (от линии «от Солнца» до точки выхода).

Ответ: около 36 мин (по правилу «половина витка» – 47,5 мин, с запасом).

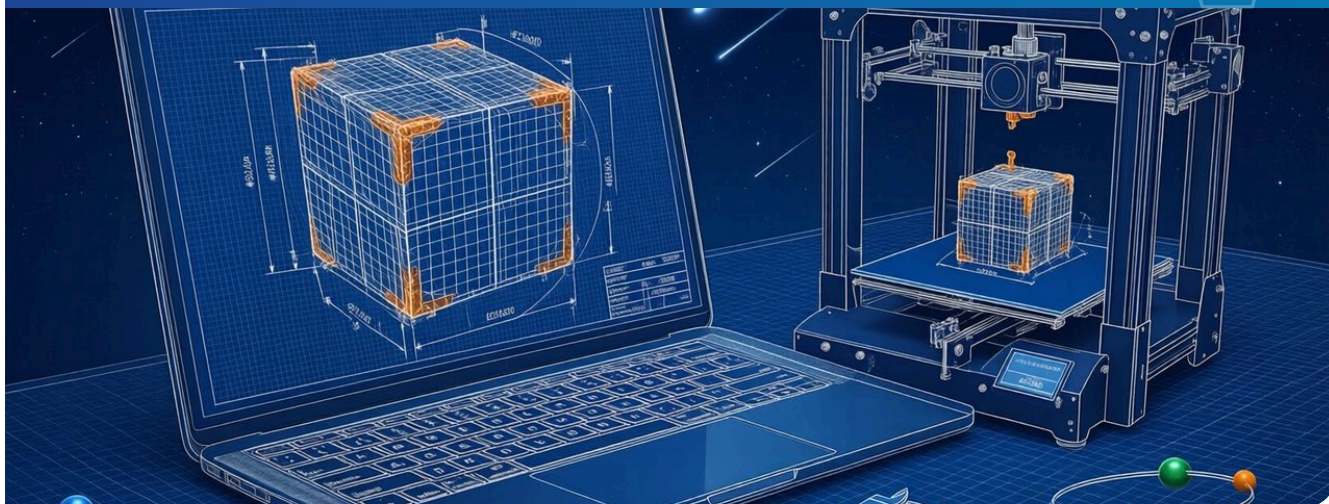
Своя задача по программе сферы, модуль 1

Реши сам

4.14. Спутник делает виток за 96 минут и на каждом витке половину времени летит в тени Земли. Сколько часов за сутки он проводит в тени?

4.15.* Около дня равноденствия Солнце лежит в плоскости экватора, а значит, и в плоскости геостационарной орбиты. Сколько минут в сутки геостационарный спутник проводит в тени Земли? Радиус ГСО $6371 + 35\,786 = 42\,157$ км, один оборот – 1436 минут (23 ч 56 мин), тень – цилиндр толщиной с Землю. Угол α построй, как в разделе 4.6. Ответ округли до целых минут.

3D-моделирование: объёмы и массы в Компас-3D



Конструктор спутника не пилит напильником – он сначала строит деталь в компьютере и спрашивает у программы, сколько она весит. На отборе это выглядит так: дан чертёж обтекателя, бака или опоры, нужно ввести массу в граммах, объём в литрах или высоту в миллиметрах. Задачу можно решить двумя путями: построить модель в «Компас-3D» и прочитать ответ, или разбить деталь на цилиндры, конусы и шары и посчитать по формулам. В этой главе каждую задачу решаем обоими путями. Два числа сошлись – ответ можно вводить спокойно.

5.1. САПР и «Компас-3D»

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 5.1 – Масса известна раньше, чем деталь сделали

Построил деталь в компьютере – и уже знаешь, сколько она будет весить. Кухонные весы потом покажут то же число.

САПР – система автоматизированного проектирования, то есть программа, в которой инженер строит детали с точными размерами. Бывают и другие 3D-программы – для мультфильмов и игр (например, Blender). Там фигура склеена из множества плоских треугольничков: для мультика красиво, но размеры и объём выходят приблизительные. Инженеру так не годится – ему нужна масса с точностью до десятых долей грамма.

«Компас-3D» – российская САПР компании АСКОН. Для школьников и студентов есть бесплатная **учебная версия**, в ней есть всё, что понадобится в этой главе. Как её получить и поставить, показано ниже по шагам: на каждой картинке рамка с номером – куда нажимать. Первый вечер в «Компасе» почти у всех уходит на поиск кнопок, у тебя будет так же, поэтому дальше есть ещё карта окна.

Ставим «Компас-3D» по шагам

Нужны компьютер с Windows 10 или 11, около 20 ГБ свободного места на диске, интернет и почта. Скачивать придётся 8 ГБ, это может занять час-другой, так что начни заранее. Анкету заполняйте вместе со взрослым: сайт просит согласие на обработку личных данных.

Шаг 1. Анкета. Открой страницу edu.ascon.ru/main/download/cab и заполни форму: как к тебе обращаться (1), почта (2), галочка «являюсь учащимся» (3), галочка согласия (4), «Я не робот» (5). Нажми «Подтвердить» (6).

Регистрация для получения КОМПАС-3D Учебная версия

Здравствуйте!

Чтобы получить учебную версию программного обеспечения, заполните форму:

Как к вам обращаться:*

E-mail:*

☐ Подтверждаю, что являюсь учащимся и буду использовать КОМПАС-3D Учебная версия исключительно в некоммерческих целях

☐ Заполняя данную форму, вы соглашаетесь на обработку [персональных данных](#)

Я не робот:* ☐ Я не робот

* — Обязательные поля

Рисунок 5.2 – Анкета для учебной версии

Шаг 2. Ссылка. Сразу откроется страница со ссылками. Нужна одна – «Основа + Машиностроение + Приборостроение» (1). Две строки под ней – для строителей и электриков, их не трогай. Выше лежит «Инструкция по установке» от АСКОН, если захочешь подробностей.

Скачивание учебной версии КОМПАС-3D

КОМПАС-3D v25 Учебная версия

Windows

[Инструкция по установке](#) (842 КБ)

[КОМПАС-3D v25 Учебная версия x64. Основа + Машиностроение + Приборостроение](#) (7,65 ГБ)

[КОМПАС-3D v25 Учебная версия x64 Строительная конфигурация](#) (1,80 ГБ)

[КОМПАС-3D v25 Учебная версия x64 Каталоги электроснабжения](#) (1,36 ГБ)

Linux

Для установки на Linux следуйте инструкции:

[Инструкция по установке на Linux](#) (784 КБ)

Поддерживаются Альт Рабочая станция 11.0, РЕД ОС 8.0, Astra Linux SE 1.8 и более новые.

Вопросы подключения репозитория и установки КОМПАС-3D на другие операционные системы обсуждаются в [Telegram-чате пользователей КОМПАС-3D](#) или [чате в MAX](#).

Рисунок 5.3 – Страница со ссылками на скачивание

Шаг 3. Открыть образ. Скачается один большой файл с расширением `.iso` – образ диска. Открой папку «Загрузки» (1) и дважды щёлкни по файлу (2): Windows покажет его как обычную флешку.

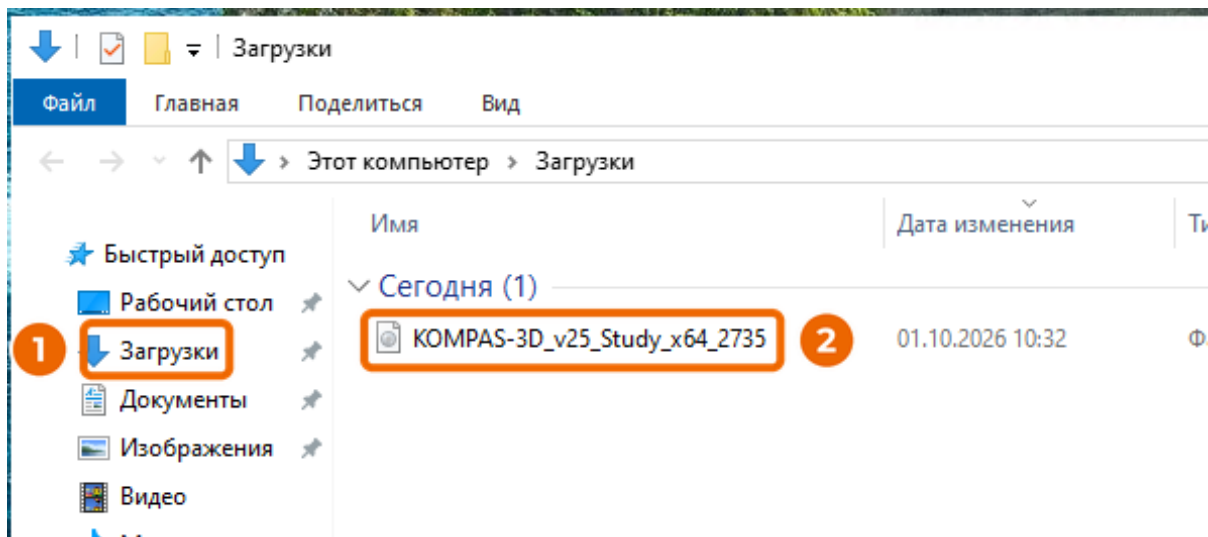


Рисунок 5.4 – Скачанный образ в папке «Загрузки»

Шаг 4. Запустить установщик. Внутри дважды щёлкни по файлу **Setup** (1).

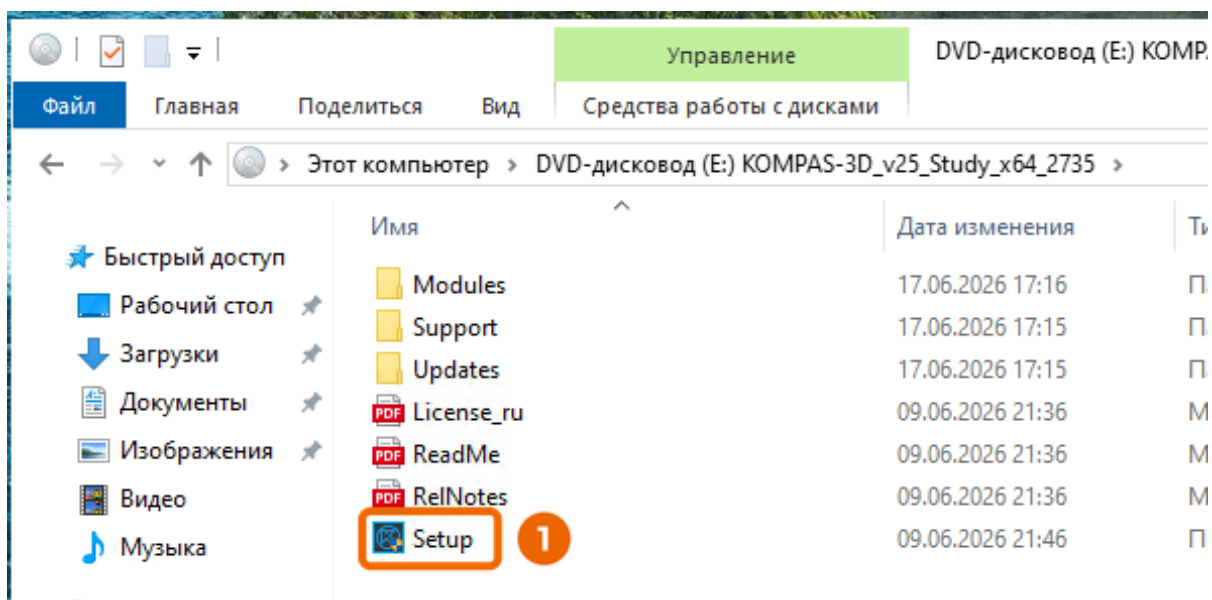


Рисунок 5.5 – Что лежит в образе

Шаг 5. Разрешение. Windows спросит, можно ли программе вносить изменения. Издатель – АСКОН, нажимай «Да» (1). Если вместо кнопки «Да» компьютер просит пароль, позови взрослого: ставить программы может только администратор.

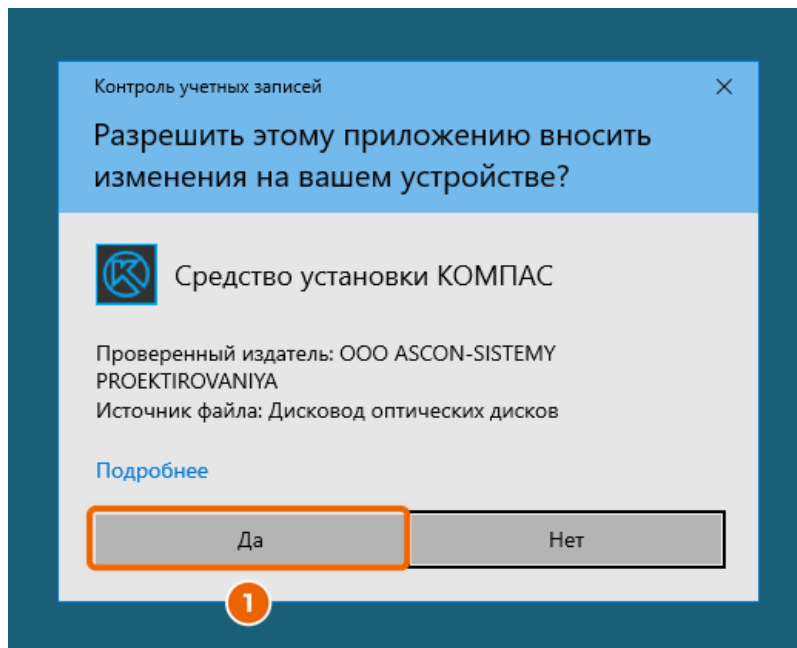


Рисунок 5.6 – Запрос Windows перед установкой

Шаг 6. Первое окно. Галочку «Участвовать в программе улучшения качества ПО» (1) можно снять: она только отправляет в АСКОН отчёты о сбоях. Нажми «Далее» (2).

Шаг 7. Тип установки. Выбери «Выборочная» (1), поставь галочку «Я принимаю условия лицензионного соглашения» (2) и нажми «Далее» (3). «Полная» добавляет расчёт прочности, фотореалистичную картинку и инструменты для программистов – ещё 7 ГБ, в книге они не нужны. Если места на диске много, можно выбрать и «Полная», тогда шага 8 не будет.

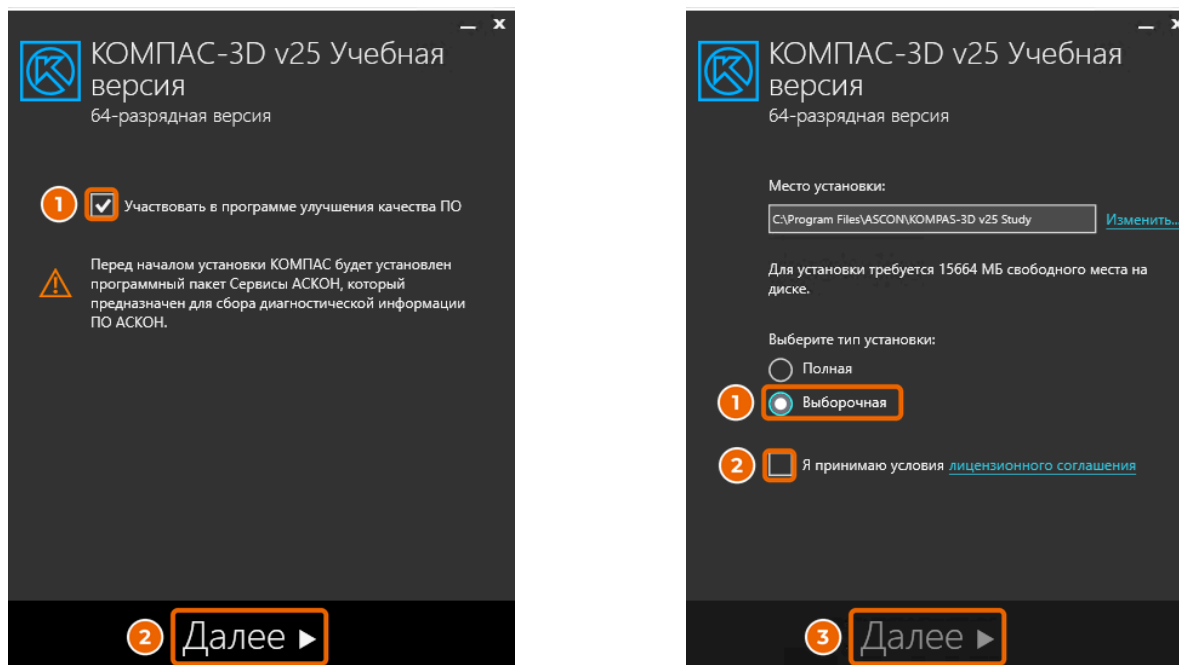


Рисунок 5.7 – Установщик: слева – первое окно (шаг 6), справа – тип установки и лицензия (шаг 7)

Шаг 8. Компоненты. В списке ничего не меняй, просто нажми «Установить» (1). Нужно около 16 ГБ на диске.

Шаг 9. Ждём. Установка идёт от 10 до 30 минут, смотря какой компьютер. Когда появится «Установка успешно завершена», нажми «Запустить» (1). В следующий раз «Компас» откры-

вай ярлыком «КОМПАС-3D v25 Учебная версия» на рабочем столе. Скачанный файл `.iso` не удаляй: по инструкции АСКОН он нужен, если придётся что-то доставить или починить.

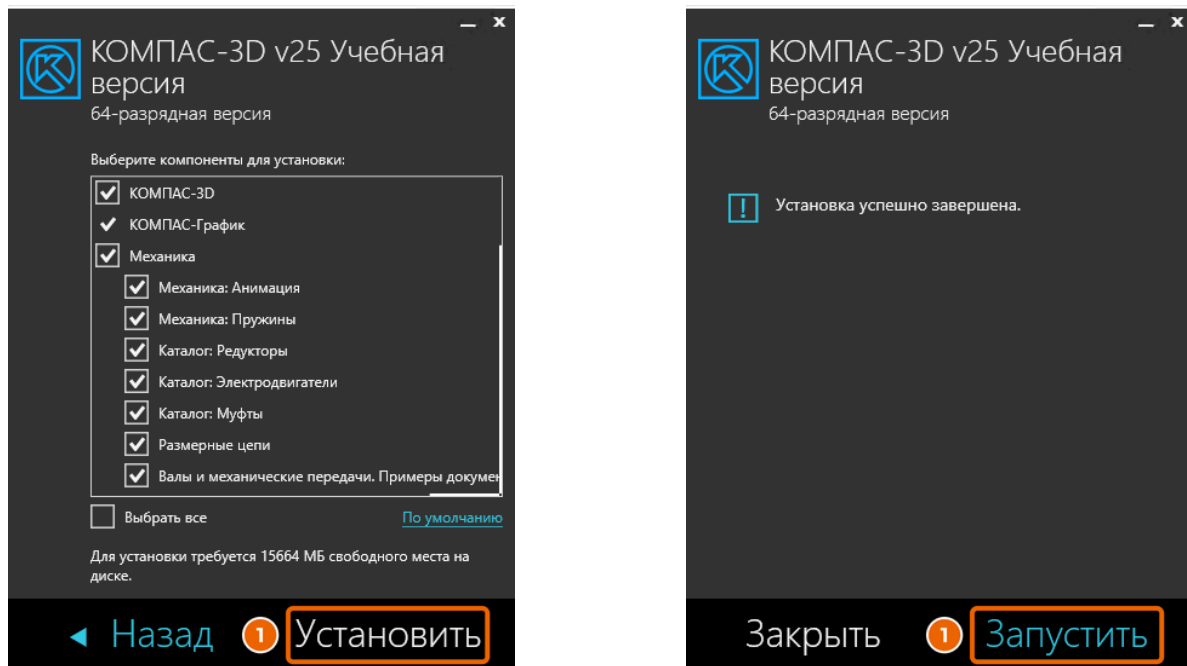


Рисунок 5.8 – Установщик: слева – список компонентов (шаг 8), справа – установка закончена (шаг 9)

После запуска открывается стартовая страница: слева примеры деталей от АСКОН, справа уроки («Азбука КОМПАС-3D»), а посередине раздел «Создать». Нам понадобятся три типа документов:

- **Деталь** (файл `.m3d`) – одна цельная вещь: болт, бак, обтекатель;
- **Сборка** (файл `.a3d`) – несколько деталей, поставленных на свои места;
- **Чертёж** (файл `.cdw`) – плоский лист с видами детали и размерами.

Чтобы передать модель в другую программу, её сохраняют в формате **STEP** (`.step` или `.stp`): он хранит точную форму, и его понимают все инженерные САПР. На отборе прошлых лет детали для сборки давали STEP-файлом.

Логика работы у всех САПР одна. Сначала рисуешь **плоский** контур – эскиз. Потом превращаешь его в объёмное тело – выдавливаешь или вращаешь. Каждое действие попадает в **дерево построения** – список слева. Двойной щелчок по строчке в дереве открывает это действие снова: можно поменять размер, и вся деталь перестроится. Длины «Компас-3D» по умолчанию считает в **миллиметрах**, углы – в градусах.

Совет. Наведи мышь на любую кнопку и подожди секунду – появится подсказка, что делает команда. Клавиша **F1** открывает подробную справку. Это быстрее, чем искать ответ в интернете.

Карта окна детали

Так выглядит «Компас», когда открыта деталь. Номерами отмечены места, которые понадобятся чаще всего.

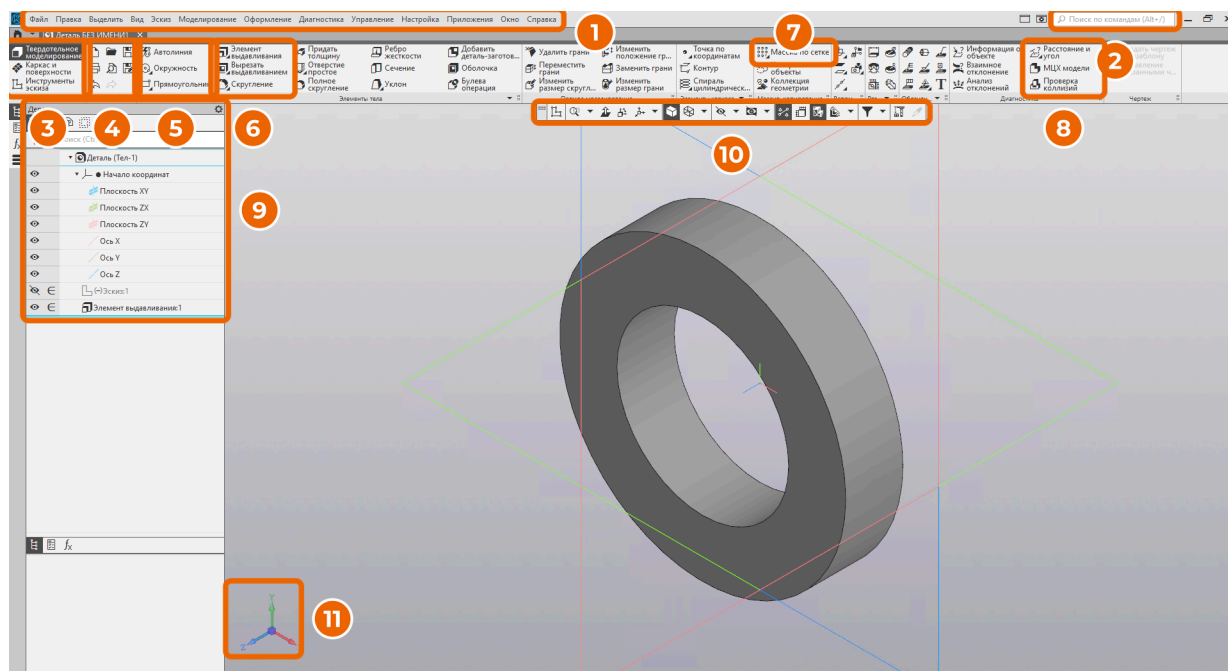


Рисунок 5.9 – Окно детали целиком

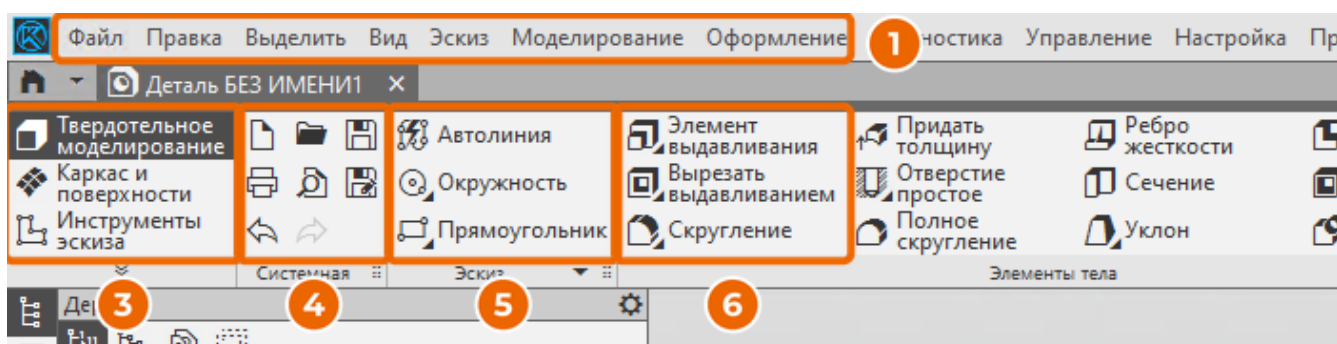


Рисунок 5.10 – Лента слева, крупно: номера те же

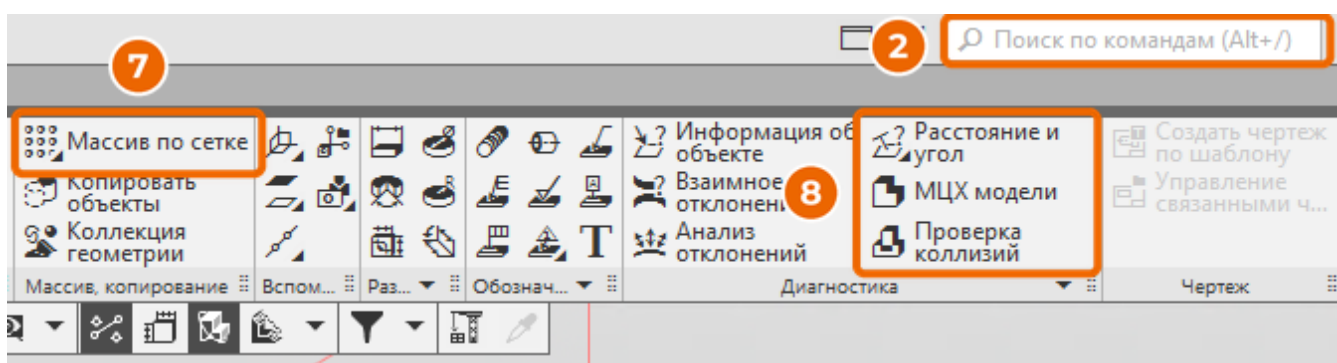


Рисунок 5.11 – Лента справа, крупно

1. **Меню.** Все команды программы по темам. Если кнопку не найти на ленте, она есть здесь.
2. **Поиск по командам (Alt+ /).** Начни печатать название – «выдавливание», «МЦХ» – и выбери команду из списка.
3. **Вкладки ленты.** «Твердотельное моделирование» – всё для тел, «Инструменты эскиза» – всё для рисования.
4. **Файлы:** создать, открыть, сохранить, напечатать. Внизу – отменить и вернуть последнее действие.

5. **Быстрый эскиз:** автолиния, окружность, прямоугольник. Начинать удобнее через «Создать эскиз» (10).
6. **Тела из эскиза:** «Элемент выдавливания», «Вырезать выдавливанием», «Скругление».
7. **Массивы:** «Массив по сетке», а в той же группе – «по концентрической сетке», то есть по кругу.
8. **Диагностика:** «МЦХ модели» – масса и объём, «Расстояние и угол» – измерить готовую деталь.
9. **Дерево построения:** плоскости, оси и всё, что ты построил, по порядку.
10. **Панель вида:** «Создать эскиз», масштаб, ориентация (спереди, сверху, изометрия), каркас или сплошное тело.
11. **Оси координат:** куда смотрят X, Y и Z, если запутался.

Мышь: **колесо** приближает и отдаляет, **зажатое колесо** вращает деталь, **Shift и зажатое колесо** сдвигают её.

У многих кнопок в углу есть маленький треугольник: под кнопкой спрятана группа похожих команд. Нажми такую кнопку на секунду (1), и группа раскроется. Под «Элементом выдавливания» спрятан «Элемент вращения» (2), под «Вырезать выдавливанием» – «Вырезать вращением», под «Массивом по сетке» – «Массив по концентрической сетке».

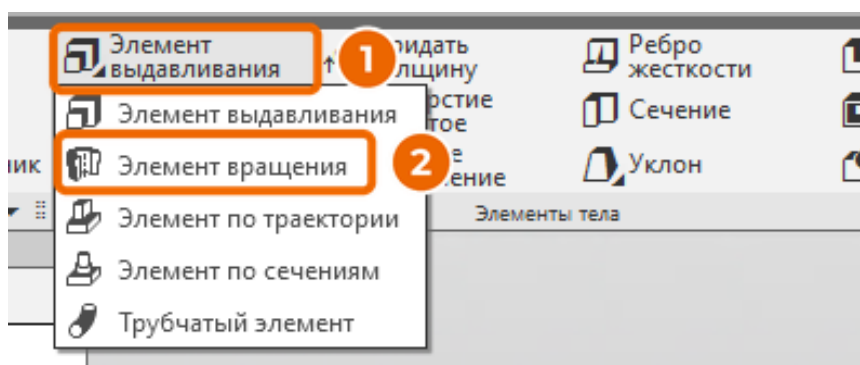


Рисунок 5.12 – Группа под кнопкой «Элемент выдавливания»

Первая деталь: кольцо-проставка

Построим настоящую деталь из задачи 5.1 (раздел 5.6): кольцо с наружным диаметром 40 мм, отверстием 24 мм и толщиной 8 мм из пластика PLA. В конце «Компас» сам посчитает массу, и её можно сверить с ответом задачи. Что такое эскиз, выдавливание и МЦХ, подробно объяснено в разделах 5.2–5.5, а здесь – только руки.

1. **Новая деталь.** На стартовой странице в разделе «Создать» нажми «Деталь» (1).

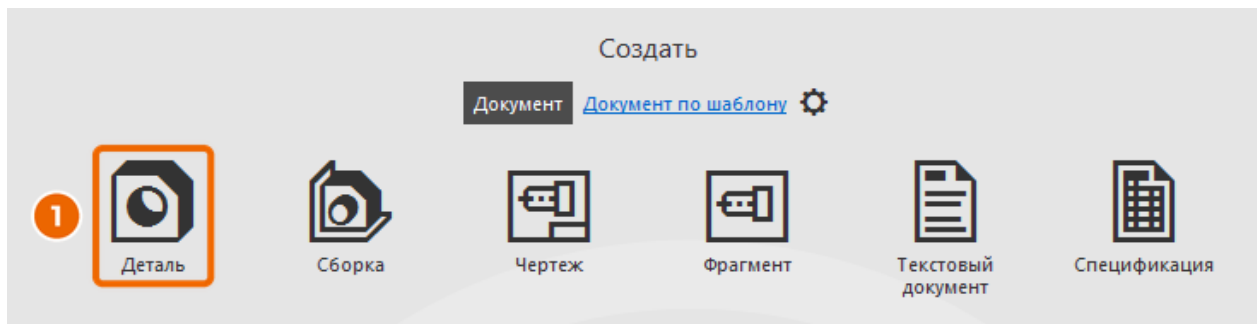


Рисунок 5.13 – Стартовая страница: раздел «Создать»

2. Плоскость и эскиз. В дереве слева раскрой «Начало координат» и щёлкни по строке «Плоскость XY» (1). Рядом всплывёт маленькая панель – нажми в ней «Создать эскиз» (2). Плоскость повернётся к тебе лицом.

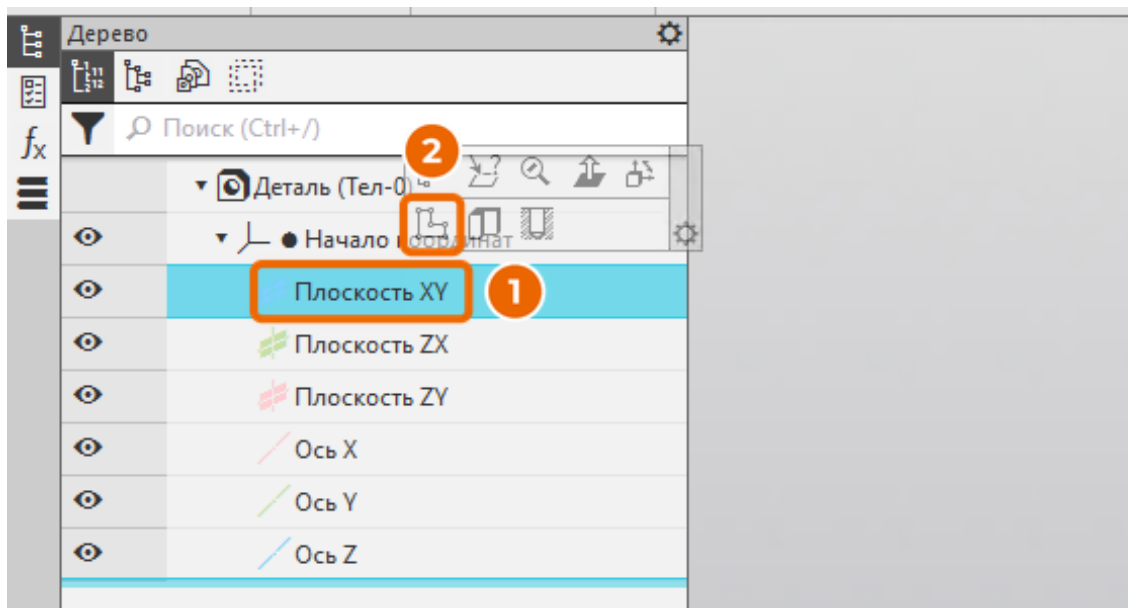


Рисунок 5.14 – Плоскость XY и кнопка «Создать эскиз»

3. Окружности. На ленте нажми «Окружность» (1) и щёлкни в начало координат – там, где сходятся красная и зелёная линии, курсор к нему прилипнет. Слева, в поле «Диаметр» (2), впиши 40 и нажми Enter. Так же нарисуй вторую окружность, диаметром 24, с центром там же. Закончить рисование – клавиша Esc.

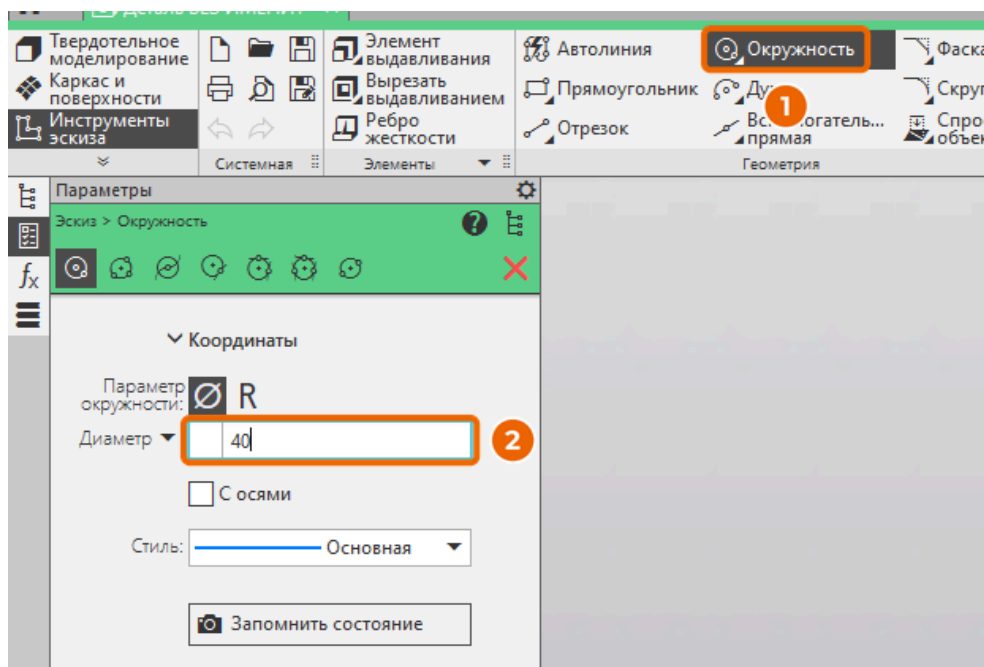


Рисунок 5.15 – Окружности: кнопка на ленте и поле «Диаметр»

4. Выход из эскиза. Нажми значок эскиза в правом верхнем углу окна (1).

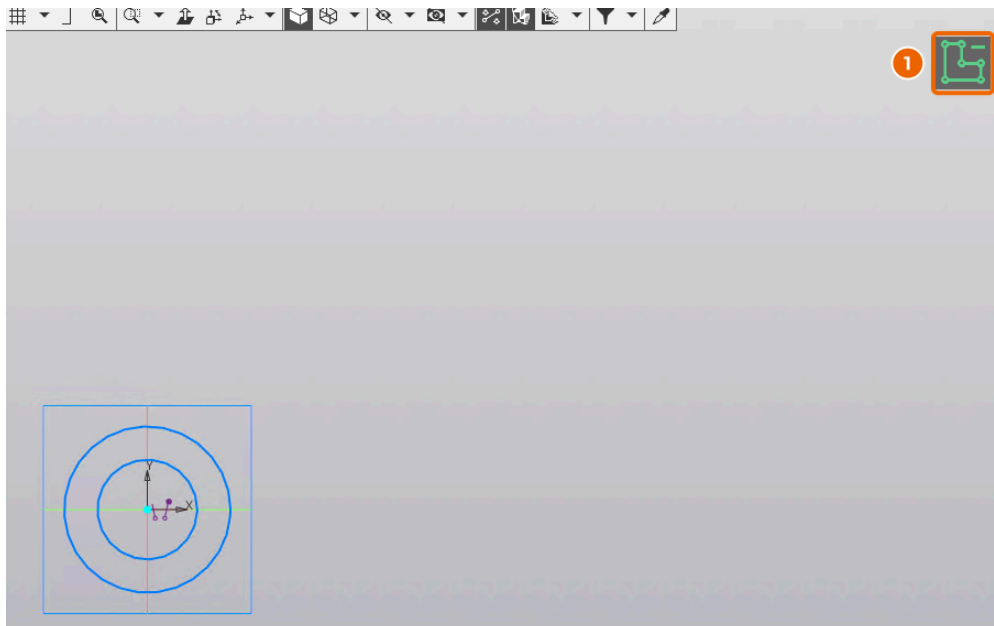


Рисунок 5.16 – Две окружности и значок выхода из эскиза

5. Выдавливание. На ленте нажми «Элемент выдавливания» (1). Эскиз подхватится сам; если поле «Сечение» пустое, щёлкни по эскизу в дереве. В поле «Расстояние» (2) впиши 8 и нажми зелёную галочку (3). Между окружностями вырастет кольцо: программа сама понимает, что маленькая окружность внутри большой – это отверстие. Команда после этого остаётся включённой, закрой её клавишей Esc.

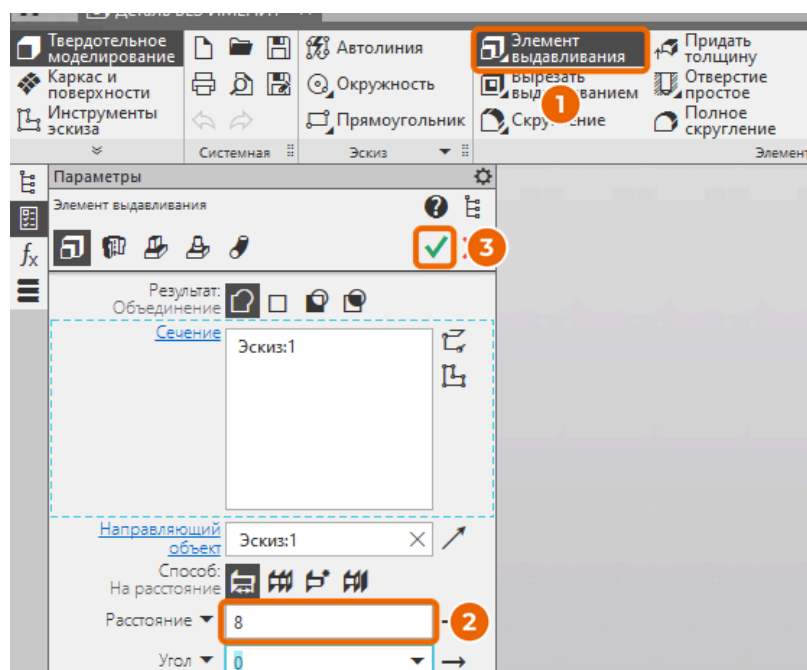


Рисунок 5.17 – Выдавливание: кнопка, расстояние, галочка

6. Плотность. Щёлкни правой кнопкой по строке «Деталь» в дереве (1) и выбери «Свойства модели» (2).

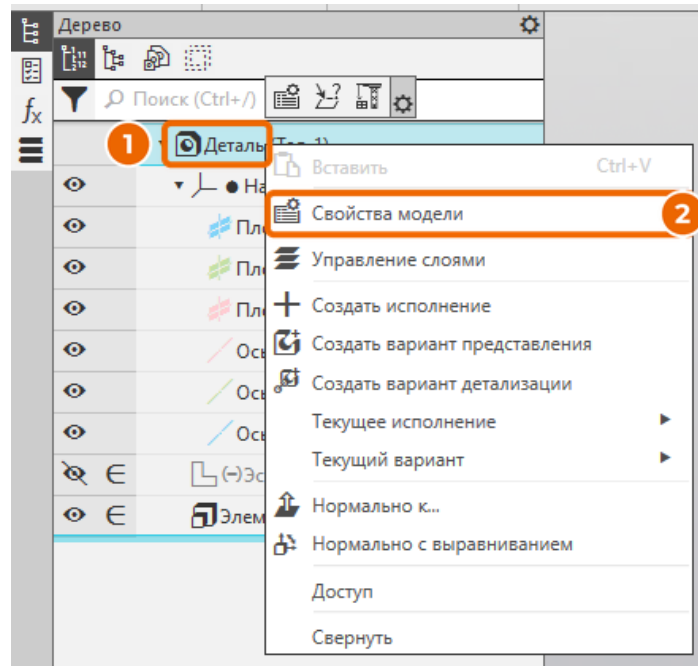


Рисунок 5.18 – Контекстное меню детали

У новой детали уже стоит материал «Сталь 10». Если его оставить, масса выйдет как у стального кольца. Убери материал крестиком (1) на левой половине рисунка – поле плотности станет белым. Впиши плотность (1) и нажми зелёную галочку (2) – это правая половина. Поле подписано в г/мм³, а в задаче дано 1,24 г/см³. В одном кубическом сантиметре 1000 кубических миллиметров, поэтому число делим на 1000: 0.00124. Дробную часть «Компас» ждёт после точки.

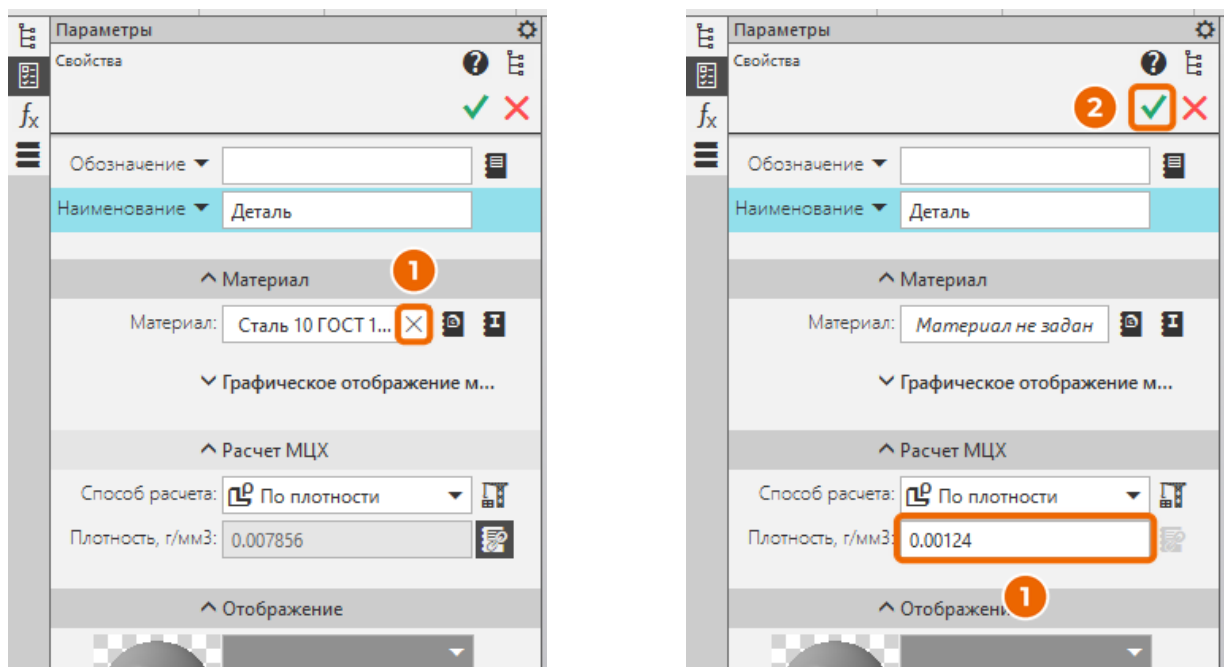


Рисунок 5.19 – Свойства модели: слева – материал по умолчанию, справа – своя плотность

7. Масса. На ленте в группе «Диагностика» нажми «МЦХ модели» (1 на левой половине рисунка). Внизу справа откроется окно «Информация»: масса (1) 7,98 г, объём (2) 6434 мм³. Ответ задачи 5.1 – 8,0 г, всё совпало. Деталь можно сохранить: «Файл» → «Сохранить», файл получит расширение .m3d.

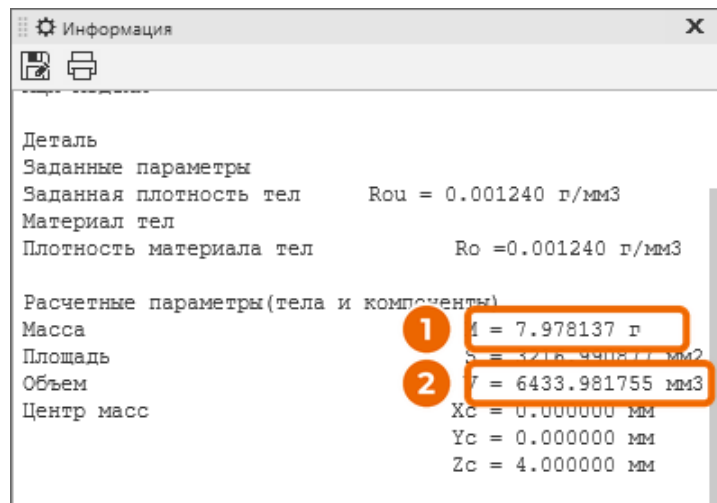
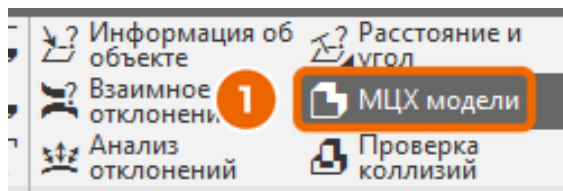


Рисунок 5.20 – Слева – кнопка «МЦХ модели», справа – окно «Информация» с массой и объёмом

5.2. Эскиз: рисуем плоско, но точно

НА ПАЛЬЦАХ

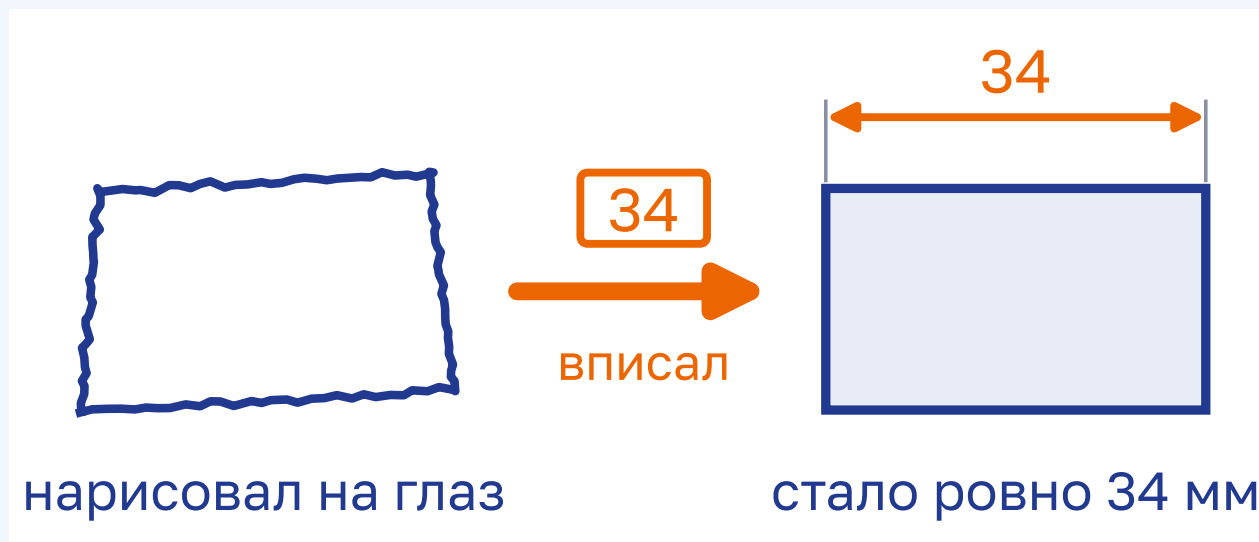


Рисунок 5.21 – Сначала на глаз, потом точное число

Рисуй как получится. Вписал размер 34 – и отрезок сам стал ровно 34 мм.

Эскиз – плоский рисунок, из которого потом получится тело. Его рисуют на одной из трёх **плоскостей**, которые проходят через начало координат: XY, ZX и ZY. Порядок такой: в дереве построения выбери плоскость (например, XY) и нажми кнопку **«Создать эскиз»**. Плоскость повернётся к тебе лицом, и можно рисовать: «Отрезок», «Окружность», «Прямоугольник», «Автолиния» (ломаная из отрезков подряд). Выйти из эскиза – ещё раз нажать «Создать эскиз» или значок эскиза в правом верхнем углу окна.

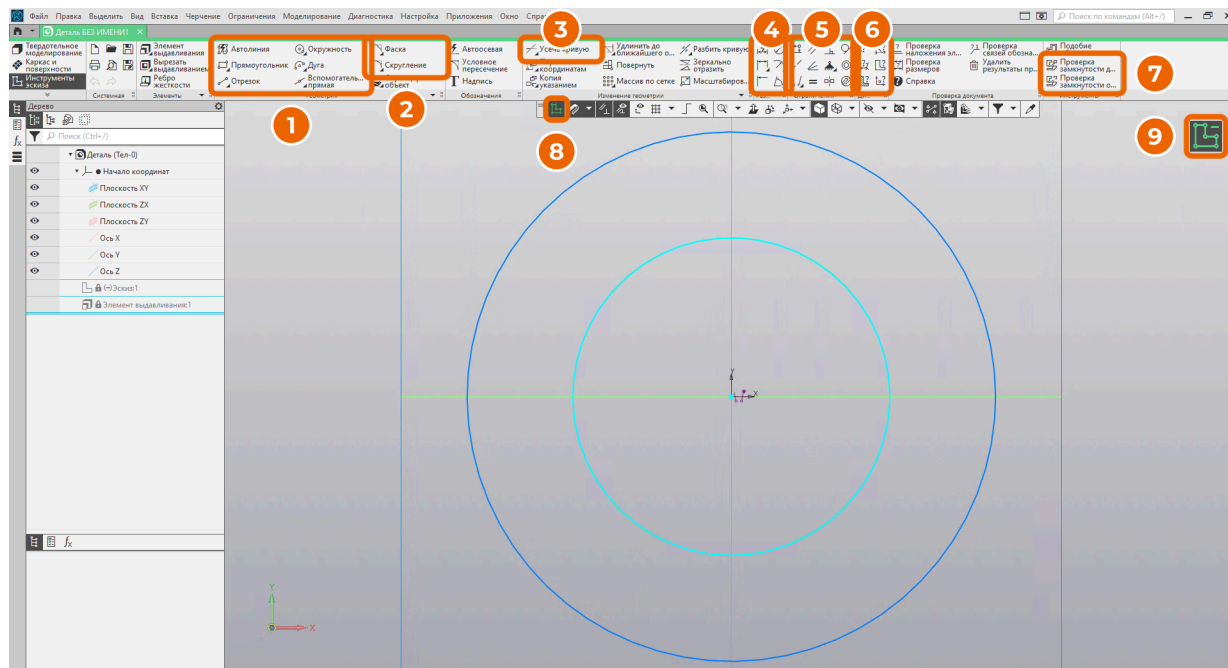


Рисунок 5.22 – Окно эскиза целиком

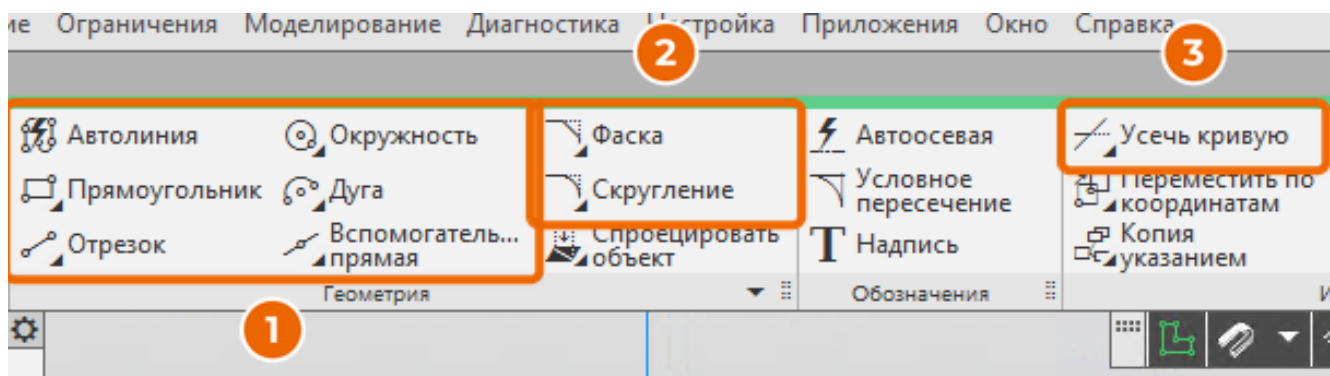


Рисунок 5.23 – Лента эскиза, крупно: геометрия

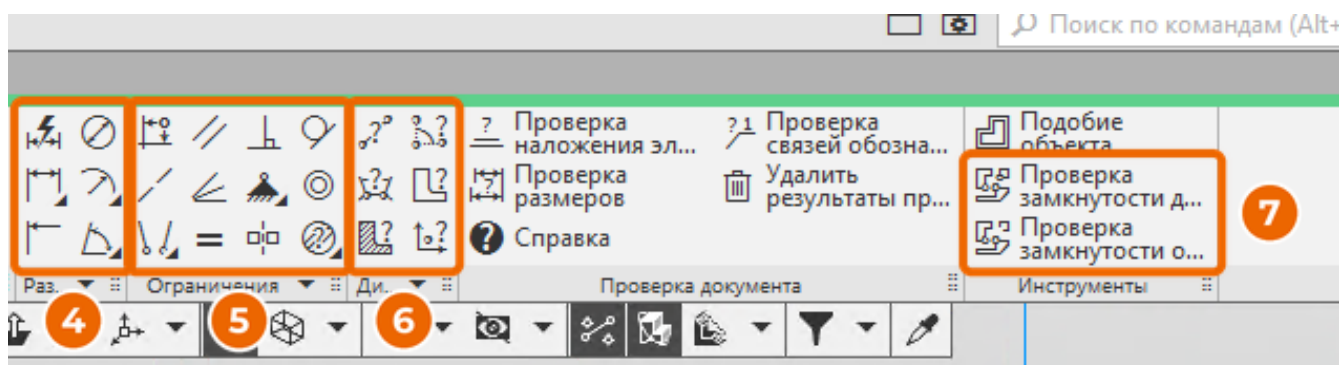


Рисунок 5.24 – Лента эскиза, крупно: размеры, ограничения, измерения

1. **Геометрия:** автолиния, окружность, прямоугольник, отрезок, дуга, вспомогательная прямая. Пока рисуешь, на панели «Параметры» слева можно сразу вписать размер, например диаметр окружности, и выбрать стиль линии.
2. **Фаска и скругление** углов эскиза.
3. **«Усечь кривую»** – щёлкни по лишнему куску линии, и он исчезнет до ближайшего пересечения.
4. **Размеры.** Первая кнопка – «Авторазмер», за ней линейный, диаметральный, радиальный и угловой размеры.

5. **Ограничения:** выравнивание, параллельность, перпендикулярность, касание, концентричность, объединить точки, равенство.
6. **Измерения:** расстояние, угол, длина кривой, площадь, координаты точки.
7. **«Проверка замкнутости»** – помогает найти место, где контур не замкнут.
8. **«Создать эскиз»** – нажата, пока ты в эскизе.
9. **Выход из эскиза** значком.

У линий в эскизе есть **стиль**, и он важен:

- **«Основная»** (толстая сплошная) – только из неё программа строит тело;
- **«Осевая»** (штрих-пунктир) – ось вращения или вспомогательная окружность, например та, на которой стоят отверстия;
- **«Тонкая»** – вспомогательные линии.

Линии других стилей, кроме «Основной», при построении тела не учитываются. Ещё одно правило: контур из основных линий должен быть **замкнутым**, без разрывов и без линий, начерченных дважды поверх друг друга. Если контур незамкнут, вместо сплошного тела получится тонкая стенка.

Линейка и твёрдая рука здесь не нужны. Точность наводит команда **«Авторазмер»**: щёлкни по отрезку, отведи размерную линию в сторону и впиши число. Программа сама растянёт или сожмёт отрезок до нужной длины.

Чтобы фигура не «расползалась», на неё накладывают **ограничения** – правила, которые программа соблюдает всегда: «горизонтальность» и «вертикальность» отрезка, «касание» окружностей, «объединить точки» (две точки становятся одной), «выравнивание». Многие ограничения ставятся сами, пока ты рисуешь: помогают **привязки** – курсор «прилипает» к концу отрезка, центру окружности, точке на линии.

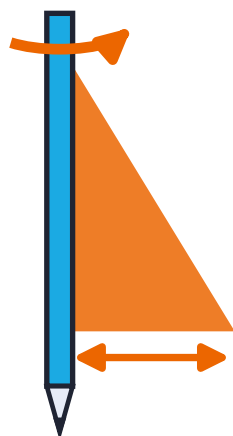
Эскиз, в котором размеры и ограничения задают всё до последней точки, называется **полностью определённым**. В дереве рядом с ним появляется знак «+», у неопределённого – «-». Неопределённый эскиз опасен: случайно потянешь мышью – и деталь станет другой, а ты не заметишь.

Запомни. Тело не строится или вышло тонкой стенкой? Проверь по порядку: все линии контура – стиля «Основная»; контур замкнут, без щелей и двойных линий; ось вращения – «Осевая» или ось координат. Числа в эскизе – миллиметры.

5.3. Из эскиза – тело: выдавливание, вращение, вырезание,

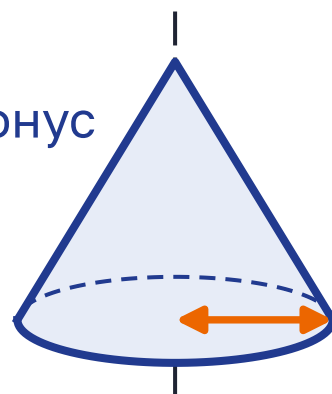
НА ПАЛЬЦАХ

крутим



ширина

конус



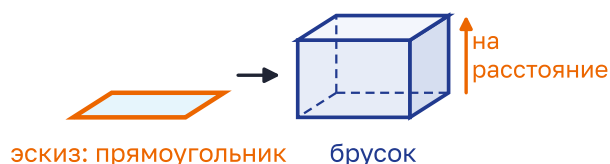
радиус

ширина флажка = радиус тела

Рисунок 5.25 – Бумажный флажок на карандаше

Приклей к карандашу бумажный треугольник и покрути карандаш в ладонях – увидишь конус. Ширина флажка стала радиусом.

Элемент выдавливания

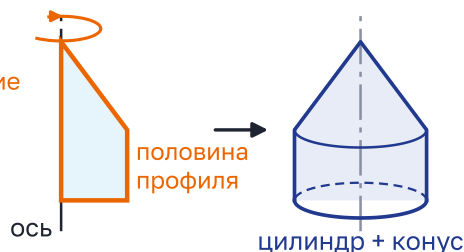


эскиз: прямоугольник

брусok

на
расстояние

Элемент вращения (на 360°)



ось

половина
профиля

цилиндр + конус

Рисунок 5.26 – Две главные операции. Выдавливание поднимает плоский контур на заданную высоту. Вращение крутит половину профиля вокруг оси на 360°

«**Элемент выдавливания**» поднимает контур эскиза вверх на заданное расстояние. Из прямоугольника выйдет брусок, из круга – цилиндр, из звёздочки – толстая звёздочка. Это та же стопка блинов из главы 3, только блин любой формы. Поэтому объём – **площадь эскиза, умноженная на высоту**:

$$V = S \cdot h.$$

Круг радиусом r даёт цилиндр $V = \pi r^2 h$. Кольцо (две окружности в одном эскизе, радиусы R и r) даёт трубку или шайбу: $V = \pi (R^2 - r^2) h$.

«**Элемент вращения**» крутит контур вокруг оси и получает **телo вращения** – у него любое сечение поперёк оси будет кругом. Так строят обтекатели и баки – тот самый флажок на карандаше. Главное правило: в эскизе рисуют **половину профиля** – только ту часть, что лежит по одну сторону от оси. Представь, что разрезал обтекатель вдоль пополам и смотришь на срез: рисуем верхнюю половину этого среза, от оси до края. Ось – отрезок стилем «Осевая» или

одна из осей координат. Контур может касаться оси, но **не должен её пересекать**: иначе «Компас» выдаст ошибку.

Какой кусок профиля какое тело даёт:

Таблица 5.1

Половина профиля	Тело	Объём
прямоугольник $r \times h$	цилиндр	$\pi r^2 h$
треугольник r и h	конус	$\frac{1}{3} \pi r^2 h$
полукруг r	шар	$\frac{4}{3} \pi r^3$
прямоугольник от r до R	труба	$\pi (R^2 - r^2) h$
полукольцо R и r	полый шар	$\frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$

Как эти куски стоят у оси:

- **прямоугольник** – одной стороной (длиной h) лежит на оси, ширина r – это радиус цилиндра;
- **треугольник** – прямоугольный, один катет (h) лежит на оси, другой (r) – радиус основания конуса;
- **полукруг** – диаметр лежит на оси;
- **прямоугольник для трубы** – отодвинут от оси: ближняя сторона на расстоянии r , дальняя – R ;
- **полукольцо** – два полукруга радиусами R и r с общим центром на оси; вращение даёт сферическую оболочку.

Сложный профиль – это несколько простых, приставленных друг к другу вдоль оси. Объём детали равен сумме объёмов кусков. Формулы тел есть в главе 3 и в справочнике.

Вырезание. Отверстие или выемку делают так же, как тело, только материал не добавляется, а убирается: команды «Вырезать выдавливанием» и «Вырезать вращением». Второй способ – в обычном выдавливании выбрать в группе «Результат» вариант «Вычитание». Отверстие насквозь делают способом «Через все». Для формулы вырезание – это вычитание: из объёма заготовки отнимаем объём отверстия.

Скругление закругляет острое ребро дугой заданного радиуса. Оно чуть-чуть меняет объём. Если на чертеже скруглений нет, не добавляй их, иначе масса разойдётся с ответом.

Массив по концентрической сетке повторяет элемент по кругу – так ставят 8 одинаковых отверстий на фланце или 6 баков вокруг корпуса. Выбираешь, что повторить, указываешь ось (например, ось Z) и число копий. Копии встают равномерно, через $360^\circ / N$ друг от друга.

Запомни. Объём детали собирают из кусков: выдавленный кусок – $S \cdot h$, кусок вращения – по таблице выше, отверстие – со знаком минус. Ширина половины профиля – **радиус**.

Совет. Прежде чем строить, посчитай примерный объём в уме. Если «Компас» выдал число в 4 раза больше – почти наверняка половину профиля нарисовали шириной в полный диаметр.

5.4. Сборка и сопряжения

НА ПАЛЬЦАХ

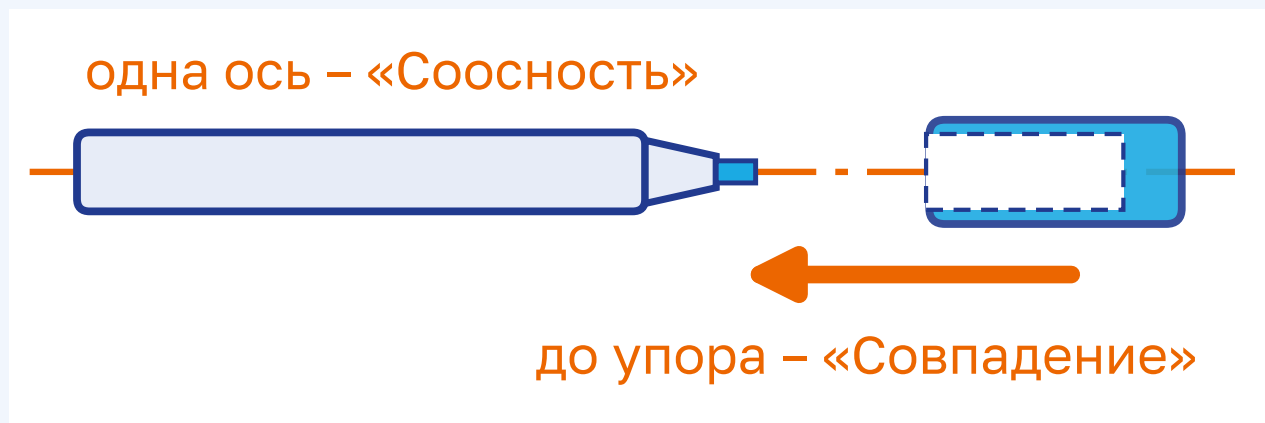


Рисунок 5.27 – Колпачок на фломастер

Колпачок держится двумя правилами: общая ось и «до упора». В «Компасе» у этих правил есть имена.

Спутник – это десятки деталей. Каждую строят в отдельном файле, а потом создают документ **«Сборка»** и добавляют в него детали кнопкой «Добавить компонент из файла». Первая добавленная деталь **закрепляется** – она неподвижна, остальные ставятся относительно неё.

Детали ставят на места с помощью **сопряжений** – правил, как одна деталь касается другой:

- **«Совпадение»** – грань (плоская сторона) одной детали прижата к грани другой (крышка лежит на корпусе);
- **«Соосность»** – оси двух круглых поверхностей совпадают (колесо надето на вал, штырь вставлен в отверстие);
- **«На расстоянии»** – между гранями остаётся заданный зазор, например 5 мм.

Есть ещё «Параллельность» и «Под углом», но для задач отбора хватает первых трёх.

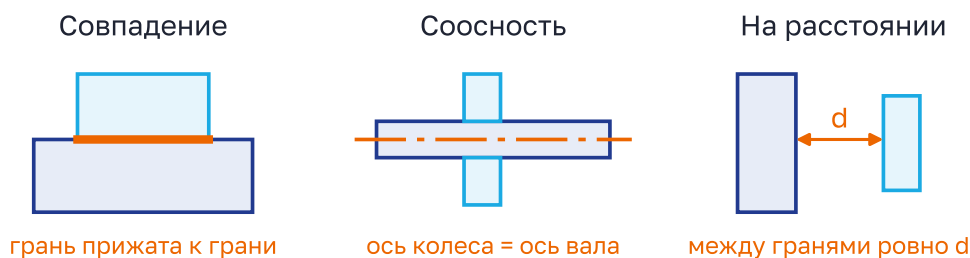


Рисунок 5.28 – Три сопряжения, которых хватает почти для любой простой сборки

Штырь в отверстии – тот же фломастер с колпачком. «Соосность» наводит штырь точно в отверстие, «Совпадение» прижимает торец (плоский конец штыря) к дну отверстия. Забудешь второе – штырь будет ездить вдоль оси, как колпачок, надетый наполовину.

Как узнать размер в готовой сборке? Командой «Расстояние и угол»: указываешь два объекта – например, пол и нижнюю грань платформы, – и программа показывает расстояние между ними. Без компьютера то же самое считают цепочкой: идём снизу вверх, прибавляем высоты деталей и **вычитаем** глубину, на которую одна деталь вошла в другую.

Запомни. Высота сборки – это сумма высот деталей минус всё, что «утонуло» в отверстиях. Фломастер с колпачком короче, чем фломастер и колпачок, положенные в линию.

5.5. МЦХ: объём, масса, центр масс

НА ПАЛЬЦАХ

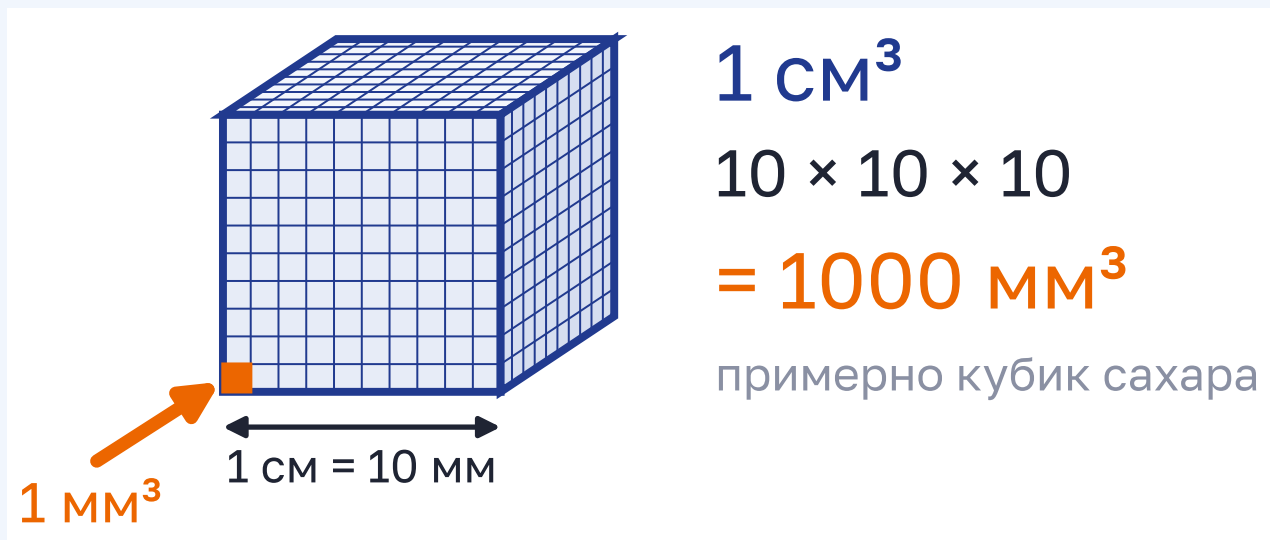


Рисунок 5.29 – Кубик 1 см и кубики 1 мм

«Компас» меряет объём крошечными кубиками по 1 мм. В кубике размером с кусочек сахара их тысяча.

МЦХ – массо-центровочные характеристики: объём, масса, площадь поверхности и **центр масс** детали. Центр масс – точка, за которую деталь можно уравновесить на кончике пальца, как линейку, положенную серединой на палец. Команда: **«Диагностика»** → **«МЦХ модели»**. В окне появятся площадь поверхности, объём, масса и координаты центра масс. Единицы измерения выбираются на панели параметров рядом.

Масса зависит от того, из чего деталь. Материал задают в **свойствах модели**: щёлкни правой кнопкой по детали в дереве и выбери «Свойства модели». У новой детали материал уже стоит – «Сталь 10», и если его не поменять, «Компас» посчитает массу стальной детали. Материал можно выбрать из списка кнопками справа от поля «Материал». Если в задаче дана своя плотность, убери материал крестиком в этом поле: тогда поле «Плотность» в секции «Расчёт МЦХ» станет белым, и в него можно вписать число (способ расчёта – «По плотно-

сти»). Поле подписано в **г/мм³**, поэтому плотность из условия в г/см³ раздели на 1000. Подтверди галочкой и снова запусти «МЦХ модели». По шагам с картинками это показано в разделе 5.1, «Первая деталь».

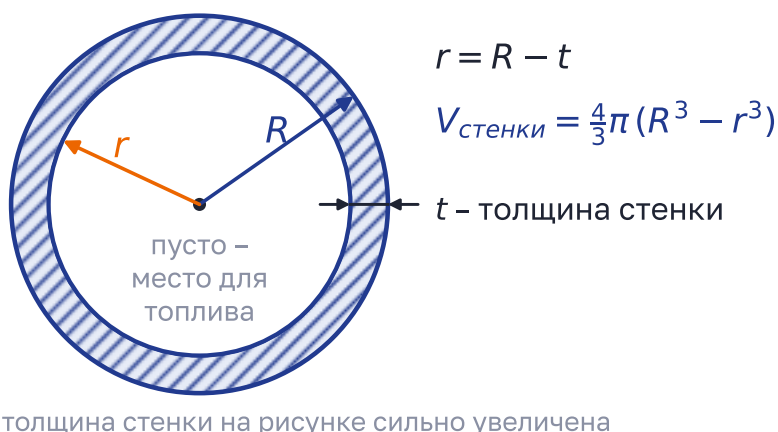
Без перевода единиц здесь никуда. Длины «Компас» считает в миллиметрах, поэтому объём выдаёт в **кубических миллиметрах**, а плотность в задачах обычно дана в г/см³.

$$1 \text{ см}^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000 \text{ мм}^3, \quad 1 \text{ л} = 1\,000\,000 \text{ мм}^3.$$

Дальше масса по знакомой формуле $m = \rho \cdot V$: плотность в г/см³ умножаем на объём в см³ и получаем граммы. Пример: МЦХ показала объём 50 000 мм³. Это $50\,000 : 1000 = 50 \text{ см}^3$. Из алюминия ($2,7 \text{ г/см}^3$) деталь весит $2,7 \cdot 50 = 135 \text{ г}$.

Полый шар. Бак ракеты – не сплошной шар, а тонкая **оболочка**: снаружи радиус R , внутри пусто. Толщина стенки t , значит, внутренний радиус $r = R - t$. Объём металла – это большой шар минус пустота внутри:

$$V_{\text{стенки}} = \frac{4}{3}\pi R^3 - \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3}\pi (R^3 - r^3).$$



толщина стенки на рисунке сильно увеличена

Рисунок 5.30 – Разрез сферической оболочки. Металл – заштрихованное кольцо между радиусами R и r

Для проверки есть грубая формула: если стенка тонкая, её объём почти равен площади поверхности шара, умноженной на толщину: $V \approx 4\pi R^2 \cdot t$. Она даёт ответ чуть больше точного – на доли процента или на проценты, в зависимости от толщины. Если точная и грубая формулы разошлись в разы, ищи ошибку.

Центр масс у тела вращения всегда лежит на оси. Вдоль оси он сдвинут туда, где материала больше: у обтекателя (цилиндр плюс конус) – ближе к толстому основанию, а не к острому носу.

Запомни. Перед тем как ввести массу из МЦХ, проверь: материал или плотность – те, что в условии? Объём переведён из мм³ (делим на 1000 – см³, на миллион – литры)?

Запомни. Как округляют в курсе. В заданиях курса по Компасу формат ответа задан условием, и он бывает разный: «масса в граммах целым числом, округление в большую сторону» (50,3 г – это 51) или «масса в килограммах, до тысячных» (0,0514 – это 0,051). Делай так, как сказано в условии, и смотри на единицу рядом с числом в окне МЦХ: у материалов из библиотеки масса бывает в килограммах, а при ручном вводе плотности – в граммах.

Совет. Считай в тех единицах, в которых удобнее. Баки – в дециметрах: 1 дм³ – это 1 литр, и объём сразу получится в литрах. Маленькие детали – в сантиметрах: 1 см³ пластика весит столько граммов, какова его плотность.

5.6. Разбираем задачи

Задача 5.1 Кольцо-проставка

разминка · выдавливание, кольцо, масса по плотности

Между платой и корпусом спутника ставят пластиковое кольцо-проставку. Наружный диаметр 40 мм, диаметр отверстия 24 мм, толщина 8 мм. Кольцо печатают из PLA (плотность 1,24 г/см³) на 3D-принтере в кружке. Найди его массу. Ответ в граммах, округли до десятых.

Дано: $D = 40$ мм; $d = 24$ мм; $h = 8$ мм; $\rho = 1,24$ г/см³.

Найти: m – ?

Решение

Шаг 1. Путь (а): в «Компасе». Создай деталь. Выбери плоскость XY → «Создать эскиз». Начерти две окружности с центром в начале координат, «Авторазмером» задай им диаметры 40 и 24. Выйди из эскиза. «Элемент выдавливания» на расстояние 8 мм: между окружностями получится кольцо. В «Свойствах модели» убери материал «Сталь 10» и впиши плотность 0,00124 г/мм³ (это те же 1,24 г/см³), затем «Диагностика» → «МЦХ модели». Программа покажет массу 7,98 г. Этот путь с картинками – в разделе 5.1, «Первая деталь».

Шаг 2. Путь (б): по формуле. Радиусы. В формулу нужен радиус: $R = 40 : 2 = 20$ мм, $r = 24 : 2 = 12$ мм.

Шаг 3. Площадь кольца. Большой круг минус отверстие:

$$S = \pi(R^2 - r^2) = 3,14159 \cdot (400 - 144) = 3,14159 \cdot 256 = 804,2 \text{ мм}^2.$$

Шаг 4. Объём. $V = S \cdot h = 804,2 \cdot 8 = 6434 \text{ мм}^3$. Переводим: $6434 : 1000 = 6,434 \text{ см}^3$.

Шаг 5. Масса. $m = \rho \cdot V = 1,24 \cdot 6,434 = 7,98 \text{ г} \approx 8,0 \text{ г}$.

Прикинем на глаз. Кубик PLA размером $1 \times 1 \times 1$ см (как кубик сахара) весит 1,24 г. В кольце 6,4 таких кубиков – выходит около 8 г. Сходится.

❗ **Ошибка номер один** в этой главе – диаметры вместо радиусов: $\pi(40^2 - 24^2) \cdot 8$ даёт массу в 4 раза больше – 31,9 г. Вторая ошибка – забыть перевести мм³ в см³ и получить 7978 г, почти 8 кг пластика на одно колечко.

Ответ: 8,0 г.

Своя задача по программе сферы, модуль 3

Реши сам

5.1. Алюминиевую пластину 100 × 60 мм и толщиной 4 мм построили «Элементом выдавливания». Какую массу покажет «МЦХ модели», если плотность алюминия 2,7 г/см³? Ответ в граммах, округли до десятых.

5.2. «МЦХ модели» показала объём детали 125 600 мм³. Деталь печатают из PLA (1,24 г/см³). Какова её масса? Ответ в граммах, округли до десятых.

5.3. Втулка – пластиковая трубка: наружный диаметр 30 мм, внутренний 20 мм, длина 50 мм. Материал – PLA (1,24 г/см³). Найди массу втулки в граммах, округли до десятых.

Задача 5.2 Головной обтекатель модели ракеты

тело вращения, цилиндр и конус, масса по плотности

Для модели ракеты нужен головной обтекатель – «нос». Он состоит из трёх частей вдоль одной оси: хвостовика диаметром 36 мм и длиной 15 мм (он вставляется в трубу корпуса), цилиндра диаметром 40 мм и длиной 25 мм и конуса с основанием 40 мм и высотой 70 мм. Деталь сплошная, печатается из пластика ABS (плотность 1,05 г/см³). Найди массу обтекателя в граммах с точностью до десятых.

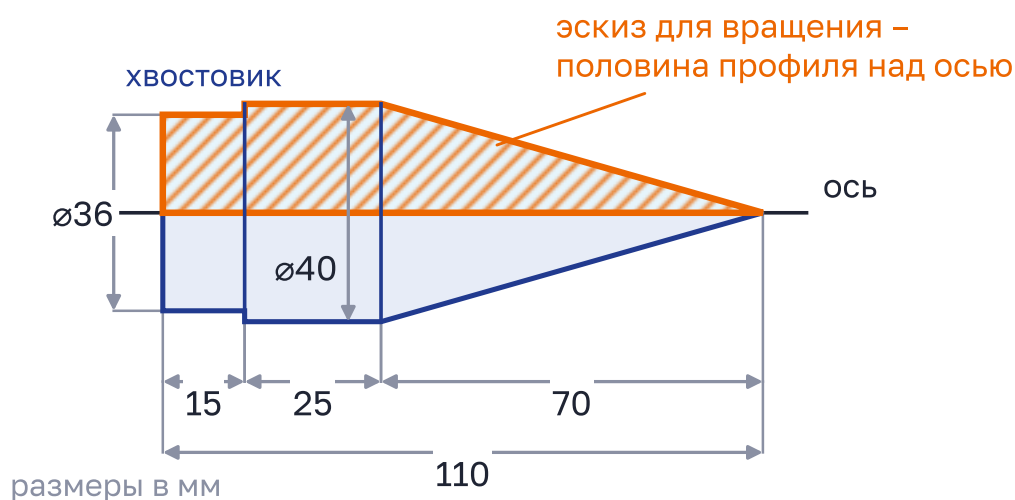


Рисунок 5.31 – Чертёж обтекателя. Заштрихована половина профиля – её и рисуют в эскизе для вращения

Дано: хвостовик $\varnothing 36 \times 15$ мм; цилиндр $\varnothing 40 \times 25$ мм; конус $\varnothing 40$, высота 70 мм; $\rho = 1,05$ г/см³.

Найти: m – ?

Решение

Шаг 1. Путь (а): в «Компасе». Создай деталь, эскиз на плоскости XY. Осью вращения будет ось X – отдельную осевую линию рисовать не нужно. Над осью X начерти «Автолинией» замкнутую ломаную – половину профиля, как на рисунке: из начала координат вверх на 18 мм (половина от 36), вправо на 15 мм, вверх до высоты 20 мм (половина от 40), вправо на 25 мм, наклонной линией вниз до оси X и по оси обратно в начало координат. «Авторамером» поставь размеры 18, 15, 20, 25, 70. Выйди из эскиза, нажми «Элемент вращения» и укажи в дереве построения ось X, угол 360°. Назначь плотность 1,05 г/см³ и посмотри «МЦХ модели»: около 79,8 г.

Шаг 2. Путь (б): по формулам. Разбиваем на простые тела. Хвостовик – цилиндр радиусом $36:2 = 18$ мм, средняя часть – цилиндр радиусом $40:2 = 20$ мм, нос – конус радиусом 20 мм.

Шаг 3. Хвостовик. $V_1 = \pi r^2 h = 3,14159 \cdot 18^2 \cdot 15 = 3,14159 \cdot 324 \cdot 15 = 15\,268$ мм³.

Шаг 4. Цилиндр. $V_2 = 3,14159 \cdot 20^2 \cdot 25 = 3,14159 \cdot 400 \cdot 25 = 31\,416$ мм³.

Шаг 5. Конус. Третью цилиндра с тем же дном: $V_3 = \frac{1}{3} \cdot 3,14159 \cdot 400 \cdot 70 = 29\,322$ мм³.

Шаг 6. Весь обтекатель. $V = 15\,268 + 31\,416 + 29\,322 = 76\,006$ мм³ = 76,006 см³.

Шаг 7. Масса. $m = 1,05 \cdot 76,006 = 79,81$ г $\approx 79,8$ г.

А если бы без носа? Сплошной цилиндр $\varnothing 40$ длиной 110 мм весил бы $1,05 \cdot 3,14159 \cdot 400 \cdot 110:1000 = 145$ г. Наш обтекатель заострён, да и хвостовик тоньше – ему положено весить заметно меньше, так что 80 г не удивляют.

 **Где ошибаются.** Забывают $\frac{1}{3}$ и считают конус как цилиндр – получится 141,4 г. В «Компасе» своя ловушка: нарисовать профиль шириной в полный диаметр (40 мм от оси вместо 20). Тогда обтекатель станет вдвое толще, а масса – в 4 раза больше: 319,2 г.

Ответ: 79,8 г.

По мотивам пробной задачи отборочного тура НТИ Junior 2019 года «Головной обтекатель ракеты»

Реши сам

5.4. Какую половину профиля нужно нарисовать в эскизе, чтобы «Элементом вращения» получить сплошной шар? А) полный круг, центр которого лежит на оси; Б) полукруг, диаметр которого лежит на оси; В) четверть круга, один радиус которой лежит на оси; Г) полукруг, который касается оси только дугой.

5.5. Носовой обтекатель маленькой ракеты: цилиндр диаметром 30 мм и длиной 20 мм, на нём конус с тем же диаметром основания и высотой 45 мм. Деталь сплошная, из ABS (1,05 г/см³). Найди массу в граммах, округли до десятых.

5.6. Нужно построить пластиковый цилиндр диаметром 40 мм и высотой 60 мм. Ученик нарисовал в эскизе прямоугольник 40 × 60 мм, приставил его длинной стороной к оси и сделал «Элемент вращения». Во сколько раз масса его детали больше правильной?

Задача 5.3 Фланец с восемью отверстиями

выдавливание, вырезание, круговой массив, алюминий

Фланец – плоский диск, которым трубу крепят к корпусу. Наш фланец: алюминиевый диск диаметром 80 мм и толщиной 6 мм, в центре отверстие диаметром 30 мм, а на окружности диаметром 60 мм равномерно стоят 8 отверстий диаметром 8 мм для болтов. Плотность алюминия 2,7 г/см³. Найди массу фланца в граммах, округли до десятых.

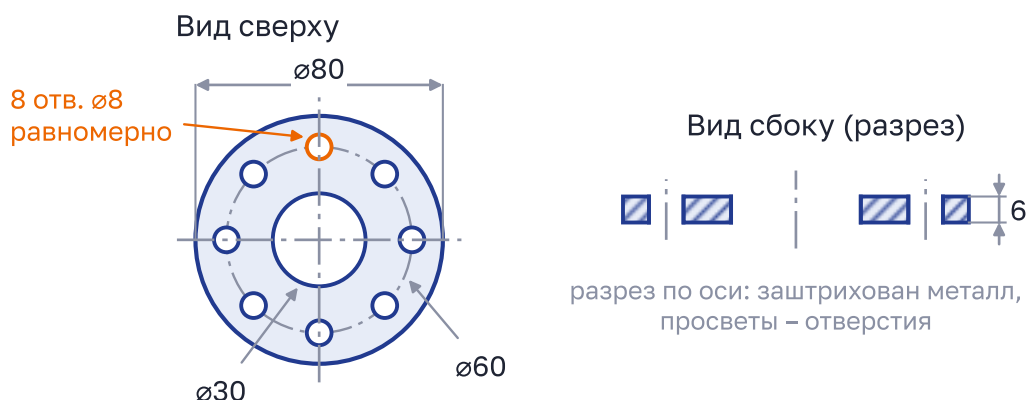


Рисунок 5.32 – Чертёж фланца: вид сверху и разрез. Центры восьми отверстий лежат на штрих-пунктирной окружности $\varnothing 60$

Дано: диск $\varnothing 80$, толщина 6 мм; центральное отверстие $\varnothing 30$; 8 отверстий $\varnothing 8$ на окружности $\varnothing 60$; $\rho = 2,7$ г/см³.

Найти: m – ?

Решение

Шаг 1. Путь (а): в «Компасе». Эскиз на XY: окружность $\varnothing 80 \rightarrow$ «Элемент выдавливания» на 6 мм. Затем эскиз на верхней грани диска: окружность $\varnothing 30$ в центре $\rightarrow$ «Вырезать выдавливанием» способом «Через все». Ещё один эскиз на той же грани: окружность $\varnothing 60$ стилем «Осевая» (она вспомогательная, тело из неё не строится) и на ней одна окружность $\varnothing 8$ стилем «Основная», центр – в верхней точке осевой окружности. «Вырезать выдавливанием» «Через все» – одно отверстие готово. «Массив по concentric сетке»: исходный элемент – это отверстие, ось – ось Z, количество – 8. Назначь алюминий, «МЦХ модели» – около 63,5 г.

Шаг 2. Путь (б): по формулам. Заготовка. Сплошной диск радиусом 40 мм:

$$V_1 = 3,14159 \cdot 40^2 \cdot 6 = 3,14159 \cdot 1600 \cdot 6 = 30\,159 \text{ мм}^3.$$

Шаг 3. Центральное отверстие. Радиус 15 мм: $V_2 = 3,14159 \cdot 15^2 \cdot 6 = 4241 \text{ мм}^3.$

Шаг 4. Восемь маленьких отверстий. Радиус 4 мм. Одно: $3,14159 \cdot 4^2 \cdot 6 = 301,6 \text{ мм}^3$, восемь: $V_3 = 8 \cdot 301,6 = 2413 \text{ мм}^3.$

Шаг 5. Объём и масса. $V = 30\,159 - 4241 - 2413 = 23\,505 \text{ мм}^3 = 23,505 \text{ см}^3$.

$m = 2,7 \cdot 23,505 = 63,46 \text{ г} \approx 63,5 \text{ г}$.

Сравним со сплошным диском. Без отверстий он весил бы $2,7 \cdot 30,159 = 81,4 \text{ г}$. Отверстия «съели» около пятой части: $23\,505/30\,159 \approx 0,78$, и $81,4 \cdot 0,78 \approx 63,5 \text{ г}$.

 **Частый промах** – вычесть отверстие один раз, а не восемь: получится 69,2 г. В «Компасе» так бывает, если забыл сделать массив или указал в нём не отверстие, а весь диск. Посчитай отверстия на экране – их должно быть восемь.

Ответ: 63,5 г.

Своя задача по программе сферы, модуль 3

Реши сам

5.7. Алюминиевый фланец ($2,7 \text{ г/см}^3$): диск диаметром 50 мм и толщиной 4 мм, в центре отверстие диаметром 10 мм, на окружности диаметром 36 мм равномерно стоят 6 отверстий диаметром 5 мм. Найди массу фланца в граммах, округли до десятых.

5.8. Крышку люка печатают из PLA ($1,24 \text{ г/см}^3$): диск диаметром 70 мм и толщиной 5 мм, в центре отверстие диаметром 20 мм, а на окружности диаметром 56 мм равномерно стоят 12 отверстий диаметром 4 мм. Найди массу крышки в граммах, округли до десятых.

Задача 5.4 Высота посадочной опоры

сборка, сопряжения, цепочка размеров

Посадочная опора лунного модуля собирается из четырёх деталей (размеры – в мм, как на рисунке):

1. **Пята** – шайба высотой 15 мм, стоит на полу. В её верхней грани глухое (не насквозь) отверстие $\varnothing 16$ глубиной 10 мм.
2. **Шток** – стержень $\varnothing 16$ длиной 320 мм. Нижним концом вставлен в отверстие пяты до упора.
3. **Кронштейн** – брусок-держатель высотой 40 мм. Снизу в нём глухое отверстие $\varnothing 16$ глубиной 25 мм, в которое до упора входит верхний конец штока.
4. **Платформа** – плита толщиной 20 мм, лежит на верхней грани кронштейна.

На какой высоте H от пола окажется нижняя грань платформы? Ответ в миллиметрах.

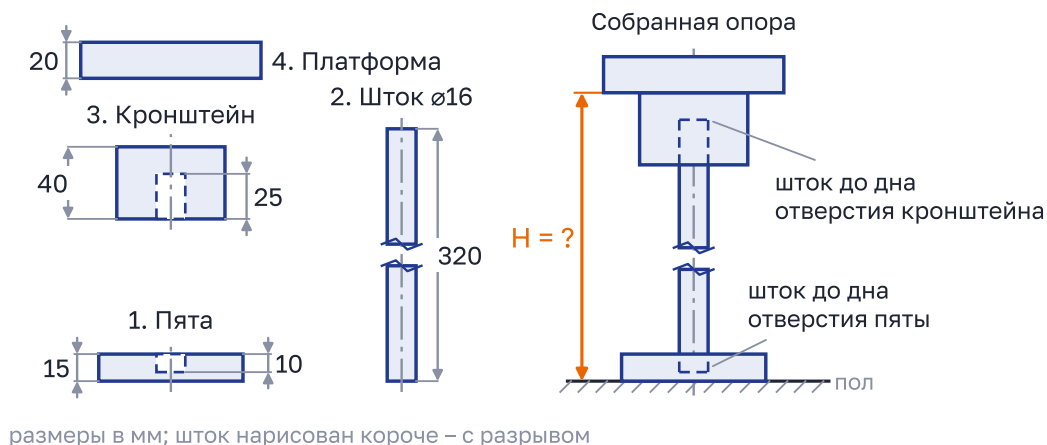


Рисунок 5.33 – Детали опоры по отдельности и в сборе. Шток на рисунке укорочен – показан с разрывом

Дано: пята 15 мм, отверстие в ней 10 мм; шток 320 мм; кронштейн 40 мм, отверстие в нём 25 мм; платформа 20 мм.

Найти: H – ?

Решение

Шаг 1. Путь (а): в «Компасе». Построй четыре детали (или открой их, если дан STEP-файл). Создай «Сборку». Первой добавь пята – она закрепится. Добавь шток и наложи два сопряжения: «Соосность» (боковая поверхность штока и отверстие пяты) и «Совпадение» (нижний торец штока и дно отверстия). Так же поставь кронштейн: «Соосность» с штоком и «Совпадение» дна его отверстия с верхним торцом штока. Платформу поставь «Совпадением» её нижней грани с верхней гранью кронштейна. Команда «Расстояние и угол» между нижней гранью пяты и нижней гранью платформы покажет 340 мм.

Шаг 2. Путь (б): цепочка снизу вверх. Где низ штока. Дно отверстия пяты находится на высоте $15 - 10 = 5$ мм от пола. Там и стоит нижний конец штока.

Шаг 3. Где верх штока. $5 + 320 = 325$ мм.

Шаг 4. Где низ кронштейна. Шток вошёл в кронштейн на 25 мм, значит, нижняя грань кронштейна на 25 мм ниже верха штока: $325 - 25 = 300$ мм.

Шаг 5. Где низ платформы. Платформа лежит на верхней грани кронштейна: $300 + 40 = 340$ мм. Толщина платформы (20 мм) в ответ не входит – спрашивают про её нижнюю грань.

Другой дорогой. Поставим детали столбиком, будто они не входят друг в друга: $15 + 320 + 40 = 375$ мм. В отверстиях «утонуло» $10 + 25 = 35$ мм, и $375 - 35 = 340$ мм – тот же ответ.

⚠ **Типичная ошибка.** Сложить длины деталей и не вычесть глубину отверстий – 375 мм, или ещё и прибавить толщину платформы – 395 мм. Читай вопрос до конца: «нижняя грань», «верхняя грань» и «от пола» – это разные числа.

Ответ: 340 мм.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Сборка посадочных опор»

Реши сам

5.9. Сопоставь задачу сборки и сопряжение. 1) Надеть колесо на ось; 2) положить крышку на корпус; 3) поставить солнечную панель с зазором 5 мм от корпуса. А) «Совпадение»; Б) «Соосность»; В) «На расстоянии». Ответ запиши в виде «1–?, 2–?, 3–?».

5.10. На столе стоит основание высотой 20 мм с глухим отверстием сверху глубиной 12 мм. В отверстие до упора вставлен стержень длиной 150 мм. На верхний конец стержня до упора надет колпачок высотой 25 мм с глухим отверстием снизу глубиной 10 мм. На какой высоте от стола верх колпачка? Ответ в миллиметрах.

Задача 5.5 Сухая масса титанового бака

сферическая оболочка, касание, масса титана

Вокруг цилиндрического корпуса посадочного модуля «поясом» стоят 6 одинаковых сферических баков. Каждый бак касается корпуса и двух соседних баков, а весь пояс вписан в габарит – окружность диаметром 1500 мм (баки касаются её изнутри). **Габарит** – граница, за которую никакая часть аппарата не должна выступать. Баки сделаны из титана (плотность 4,5 г/см³), толщина стенки 3 мм. Найди **сухую** (без топлива) массу одного бака. Ответ в килограммах, округли до сотых.

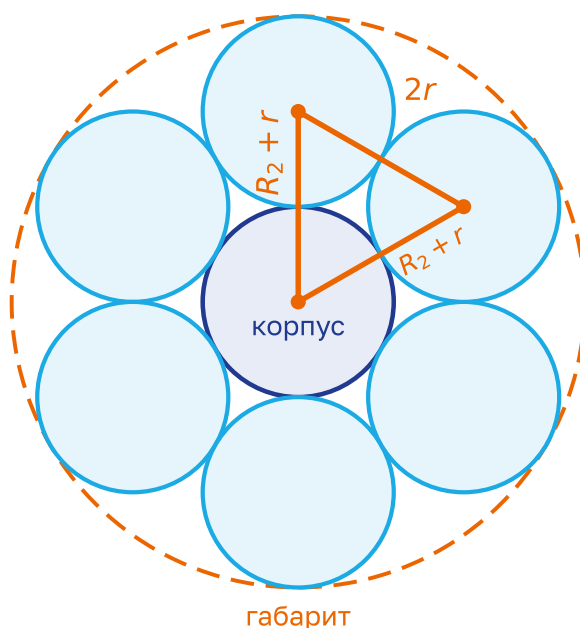


Рисунок 5.34 – Шесть баков, касающихся корпуса и друг друга. Центр корпуса и центры двух соседних баков образуют треугольник

Дано: 6 баков; $D_1 = 1500$ мм; $t = 3$ мм; $\rho = 4,5$ г/см³.

Найти: m одного бака – ?

Решение

Шаг 1. Что происходит. Сначала нужно понять, какого размера бак, и только потом считать металл. Обозначим радиус бака r , радиус корпуса R_2 , радиус габарита $R_1 = 1500:2 = 750$ мм.

Шаг 2. Шесть вокруг одного. Проверь на столе: положи пятирублёвую монету и обложи её такими же. Ровно шесть монет лягут вокруг без щелей, каждая касается средней и двух соседей. Значит, если шесть одинаковых баков касаются корпуса и друг друга, корпус такого же размера, как бак: $R_2 = r$.

Почему так, видно по треугольнику на рисунке. Его вершины – центр корпуса и центры двух соседних баков. Две стороны равны $R_2 + r$ (бак касается корпуса), третья – $2r$ (баки касаются друг друга), угол при центре корпуса $360^\circ:6 = 60^\circ$. Треугольник с двумя равными сторонами и углом 60° между ними – равносторонний, поэтому $R_2 + r = 2r$, то есть $R_2 = r$.

Шаг 3. Габарит. От центра корпуса до самой дальней точки бака: $R_2 + 2r = r + 2r = 3r$. Это радиус габарита: $3r = 750$ мм, $r = 250$ мм. Наружный диаметр бака 500 мм, корпуса – тоже 500 мм.

Шаг 4. Путь (а): в «Компасе». Эскиз на ХУ – половина кольца над осью Х: две дуги-полуокружности с центром в начале координат, радиусом 250 мм и 247 мм, их концы соединены короткими отрезками по 3 мм, лежащими на оси Х. «Элемент вращения» вокруг оси Х на 360° – получится полый шар. Плотность $4,5$ г/см³, «МЦХ модели» – около 10,48 кг. Только размер 250 мм «Компас» сам не подскажет – его нужно было найти рассуждением в шагах 2–3. Моделировать весь пояс не нужно, достаточно одного бака.

Шаг 5. Путь (б): по формуле. Внутренний радиус $r_{\text{вн}} = 250 - 3 = 247$ мм.

$250^3 = 15\,625\,000$, $247^3 = 15\,069\,223$, разность $555\,777$ мм³.

$V = \frac{4}{3} \cdot 3,14159 \cdot 555\,777 = 2\,328\,033$ мм³ = $2328,0$ см³.

Шаг 6. Масса. $m = 4,5 \cdot 2328,0 = 10\,476$ г = $10,476$ кг $\approx 10,48$ кг.

Тут выручит грубая формула – площадь шара, умноженная на толщину:

$4 \cdot 3,14159 \cdot 250^2 \cdot 3 = 2\,356\,194$ мм³ – это 10,60 кг, всего на 1 % больше точного ответа.

Значит, в кубах не ошиблись.

⚠ Оять диаметр вместо радиуса. Подставишь 500 мм (и 497 мм внутри) – выйдет 42,16 кг, в 4 раза больше. Другая ошибка – посчитать $\frac{4}{3}\pi \cdot (250 - 247)^3$: это объём шарика радиусом 3 мм, а не стенки. Куб разности и разность кубов – разные вещи.

Ответ: 10,48 кг.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Баки для посадочного модуля» (сухая масса бака)

Реши сам

5.11. Шаровой баллон для сжатого газа сделан из алюминия ($2,7$ г/см³): наружный диаметр 400 мм, толщина стенки 2 мм. Найди массу пустого баллона в килограммах, округли до сотых.

5.12. Вокруг корпуса диаметром 360 мм стоят 6 одинаковых шаровых баков, каждый касается корпуса и двух соседей. Найди суммарный объём баков в литрах, округли до десятых. Какого диаметра получится габарит всей конструкции?

5.13.* Шаровой бак из титана ($4,5 \text{ г/см}^3$) с наружным диаметром 600 мм и толщиной стенки 3 мм доверху заправили жидким кислородом ($1,14 \text{ кг/л}$). Найди массу заправленного бака в килограммах, округли до десятых.

Задача 5.6* Сколько баков поместится в пояс

касание, круговой массив, объём шара, пересечение

Вокруг корпуса посадочного модуля диаметром $D_2 = 600 \text{ мм}$ ставят «пояс» одинаковых сферических баков. Ни одна часть модуля не должна выступать за габарит $D_1 = 1400 \text{ мм}$. Баки ставят вплотную к корпусу, они не должны пересекаться друг с другом и с корпусом. Число баков выбери сам так, чтобы их **суммарный объём был наибольшим**. Толщиной стенок пренебечь. Ответ – суммарный объём баков в литрах, округли до десятых.

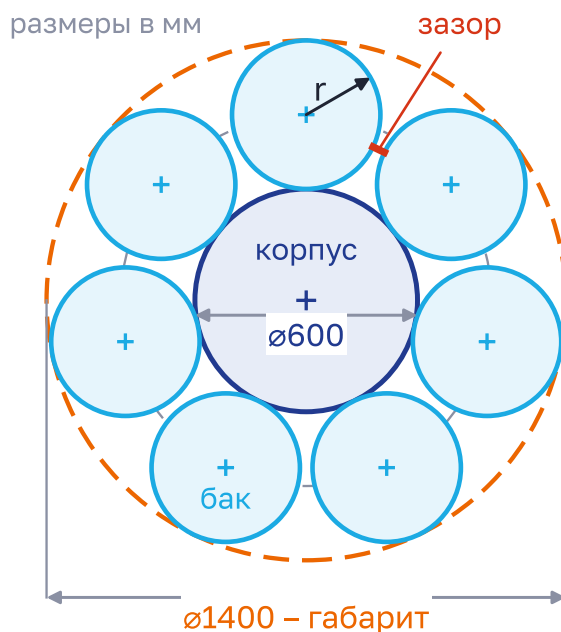


Рисунок 5.35 – Вид сверху: корпус, семь баков и габарит. Между соседними баками остаётся зазор

Дано: $D_1 = 1400 \text{ мм}$; $D_2 = 600 \text{ мм}$; баки касаются корпуса, не пересекаются.

Найти: число баков N и их суммарный объём V – ?

Решение

Шаг 1. Самый большой бак. Объём шара растёт как куб радиуса, поэтому баки выгодно делать крупными. Бак касается корпуса и не вылезает за габарит – самый большой будет касаться и габарита тоже. Между корпусом и габаритом остаётся полоса шириной $700 - 300 = 400 \text{ мм}$, это диаметр бака. Радиус $r = 200 \text{ мм}$.

Шаг 2. Где центры баков. Центр каждого бака на расстоянии $300 + 200 = 500$ мм от оси корпуса. Все центры лежат на окружности радиусом 500 мм.

Шаг 3. Сколько баков – оценка сверху. Длина этой окружности $2 \cdot 3,14159 \cdot 500 = 3141,6$ мм. Центры соседних баков должны быть друг от друга не ближе $2r = 400$ мм, а дуга между ними всегда чуть длиннее прямой. Значит, $N < 3141,6 : 400 = 7,85$. Больше семи баков не поместится.

Шаг 4. Помещаются ли семь. Проверим построением в «Компасе». Ось корпуса пусть будет осью Z. Эскиз на XY: полуокружность радиусом 200 мм над осью X с центром в точке на оси X в 500 мм от начала координат; её диаметр – отрезок оси X от 300 до 700 мм. «Элемент вращения» вокруг оси X даст шар-бак. Потом «Массив по концентрической сетке» вокруг оси Z на 7 копий – вокруг оси встанет пояс баков. Команда «Расстояние и угол» между двумя соседними баками покажет зазор около 34 мм – семь баков встают свободно. Поменяй в массиве число копий на 8 – и на виде сверху соседние баки налезут друг на друга. Восемь не помещаются.

Шаг 5. Объём одного бака. Удобно считать в дециметрах: $r = 200 \text{ мм} = 2 \text{ дм}$, а 1 дм^3 – это 1 л. $V_1 = \frac{4}{3} \cdot 3,14159 \cdot 2^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14159 \cdot 8 = 33,51$ л.

Шаг 6. Все баки. $V = 7 \cdot 33,51 = 234,57 \text{ л} \approx 234,6 \text{ л}$.

Шаг 7. А если баки поменьше, но их больше? Чтобы влезло 8 баков, каждый пришлось бы уменьшить до радиуса около 186 мм (в «Компасе» это находят подбором), и вместе они вместили бы около 215 л – меньше, чем 234,6 л. С девятью и больше выходит ещё меньше. Почему так: при восьми баках радиус меньше всего на 7 %, а объём каждого бака – уже на 20 % (объём зависит от радиуса в кубе). Баков же прибавилось лишь на седьмую часть, около 14 %. Потеряли больше, чем выиграли, – семь больших баков лучше.

Для любопытных. Без компьютера это проверяют тригонометрией – её проходят в 8–9 классе, а на калькуляторе она спрятана в кнопках $\sin$ и $\sin^{-1}$. Каждый бак «занимает» при центре корпуса угол α , для которого $\sin(\alpha/2) = r/500 = 0,4$. Кнопкой $\sin^{-1}$: $\alpha/2 = 23,58^\circ$, $\alpha = 47,16^\circ$. $360:47,16 = 7,63$ – семь баков помещаются, восемь нет. Расстояние между центрами соседних баков при семи баках: $2 \cdot 500 \cdot \sin(360^\circ:14) = 1000 \cdot \sin 25,71^\circ = 433,9$ мм, это больше 400 мм – зазор 33,9 мм.

Тот же расчёт для любого числа баков делает программа на Python. Она перебирает число баков и для каждого находит самый большой радиус, при котором баки не пересекаются и не вылезают за габарит.

```
from math import pi, sin

R1, R2 = 700, 300                                # радиусы габарита и корпуса, мм
for n in range(6, 11):
    s = sin(pi / n)                                # половина угла между соседями
    r = min((R1 - R2) / 2, R2 * s / (1 - s))        # мешает габарит или соседи
    v = n * 4 / 3 * pi * (r / 100) ** 3             # r в дм → объём в литрах
    print(n, round(r, 1), round(v, 1))
```

Программа печатает: при 7 баках радиус 200,0 мм и 234,6 л, при 8 – 186,0 мм и 215,5 л, дальше меньше. При 6 баках радиус тоже 200 мм (мешает габарит), но баков меньше – 201,1 л.

Много это или мало? Бак диаметром 40 см вмещает 33,5 л – примерно три с половиной ведра по 10 л. Семь таких баков – около 23 вёдер, чуть больше дачной бочки для полива на 200 л. Сотни литров, а не десятки и не тысячи – порядок верный.

⚠ Главная ловушка задачи – разделить длину окружности центров на диаметр бака и округлить **вверх**: $7,85 \rightarrow 8$. Округлять здесь можно только вниз, но и после этого нужна проверка – дуга длиннее прямого отрезка между центрами, и оценка иногда обещает на один бак больше, чем влезет. Ещё одна ошибка – взять за радиус окружности центров радиус корпуса 300 мм, а не 500 мм.

Ответ: 7 баков радиусом 200 мм, суммарно 234,6 л.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Баки для посадочного модуля»

Реши сам

5.14. Корпус модуля – цилиндр диаметром 500 мм, габарит – 1100 мм. Вокруг корпуса вплотную к нему ставят пояс одинаковых шаровых баков самого большого размера, какой пропускает габарит; баки не должны пересекаться. Сколько баков поместится и каков их суммарный объём в литрах (округли до десятых)?

5.15.* Корпус модуля – цилиндр диаметром 800 мм, габарит – 1400 мм. Вокруг корпуса вплотную к нему ставят пояс одинаковых шаровых баков наибольшего возможного размера (баки не выступают за габарит и не пересекаются). а) Сколько баков поместится? б) Каков их суммарный объём в литрах (округли до десятых)?

Электроника: ток, напряжение, сопротивление



В любом спутнике, даже размером с пакет молока, есть батареи, провода, резисторы, светодиоды и маленький компьютер – микроконтроллер. В этой главе – физика, без которой к ним нельзя подключить ни одного провода. На отборе такие задачи короткие: посчитать ток, подобрать резистор для светодиода, предсказать число, которое покажет `analogRead`, решить, сколько батареек взять. Формул всего пять-шесть, а чаще всего теряют баллы на единицах: пишут амперы вместо миллиампер или омы вместо килоом.

6.1. Цепь: ток, напряжение, сопротивление

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.1 – Ток – как вода в трубе

Напряжение – это напор, ток – это поток, сопротивление – узкое место в трубе.

Электрический ток – это движение крошечных заряженных частиц, электронов, по проводам. Чтобы ток шёл, нужны **источник** (батарейка, аккумулятор, USB-порт), **нагрузка** (лампочка, светодиод, мотор) и провода, которые соединяют всё **в замкнутый круг**. Такой круг называют **электрической цепью**. Стоит разорвать его в одном месте – выключателем или отвалившимся проводом – и ток пропадает во всей цепи сразу.

Посмотри на троллейбус: у него на крыше две штанги, а над дорогой два провода. По одному ток приходит к мотору, по другому уходит обратно – круг замыкается. Слетела штанга с провода – мотор остался без тока.

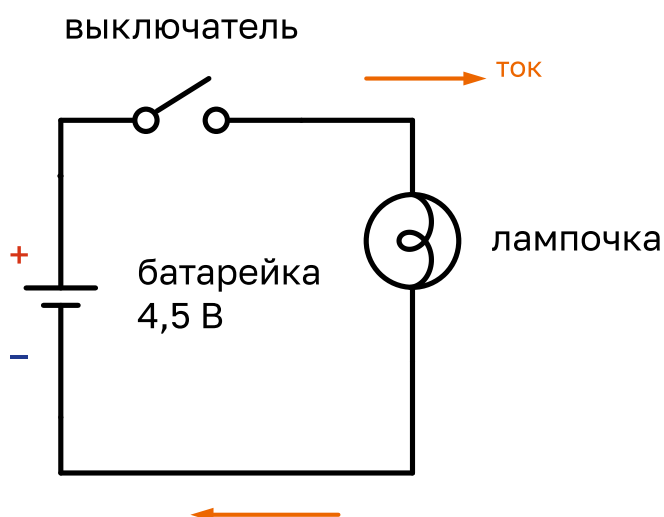


Рисунок 6.2 – Простая цепь: батарейка, выключатель и лампочка. Стрелки показывают направление тока – от «+» батарейки через лампочку к «-»

У любого источника два вывода: **«плюс» (+)** и **«минус» (-)**. Договорились считать, что снаружи источника ток идёт от плюса к минусу. На плате Arduino плюс питания подписан **5V**, а минус

– **GND** (от английского ground – «земля»). Все точки схемы, подключённые к GND, соединены между собой – это общий «минус».

Три главные величины удобно представлять так, как на картинке в начале раздела: водопровод на даче, бак на крыше и труба вниз.

- **Напряжение U** – это как высота бака. Чем выше бак, тем сильнее вода давит на трубу. Напряжение «толкает» ток. Измеряется в **вольтах** (В). Батарейка АА даёт 1,5 В, плата Arduino – 5 В, батарейка «Крона» – 9 В, в розетке – 220–230 В (это смертельно опасно, с розеткой не экспериментируем никогда).
- **Сила тока I** (или просто «ток») – сколько воды протекает через трубу за секунду. Измеряется в **амперах** (А). Токи в электронике маленькие, поэтому чаще пишут **миллиамперы**: 1 А = 1000 мА. Через светодиод обычно пускают до 20 мА, а электрочайник берёт около 9 А.
- **Сопротивление R** – насколько узкая труба. Чем уже труба, тем меньше воды пройдёт при той же высоте бака. Измеряется в **омах** (Ом); 1 кОм (килоом) = 1000 Ом, 1 МОм (мегаом) = 1 000 000 Ом. Деталь, у которой главная работа – сопротивляться току, называется **резистор**.

Аналогия помогает, но не во всём. Вода из крана вытекает, а ток бежит по кругу и в лампочке **не расходуется**: сколько тока вошло в лампочку, столько и вышло. Расходуется энергия – она превращается в свет и тепло.

На схемах детали обозначают буквами: R – резистор, C – конденсатор, D или VD – диод и светодиод, S или SB – кнопка. Если деталей несколько, к букве добавляют номер: R1, R2, S3.

Запомни. Нет замкнутого круга – нет тока. Вольты толкают, амперы текут, омы мешают. Приставка «милли» – это тысячная доля (1 мА = 0,001 А), «кило» – тысяча (1 кОм = 1000 Ом). На Arduino 5V – плюс, GND – минус.

6.2. Закон Ома

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.3 – Что меняет поток воды

Бак выше – течёт больше. Труба уже – течёт меньше. Это и есть закон Ома.

С током всё так же, как с водой на картинке. Это правило почти двести лет назад открыл немецкий школьный учитель физики Георг Ом, и оно носит его имя – **закон Ома**: *ток через резистор равен напряжению на нём, делённому на сопротивление*.

$$I = \frac{U}{R}.$$

Из этой формулы получаются ещё две – когда неизвестно напряжение или сопротивление:

$$U = I \cdot R, \quad R = \frac{U}{I}.$$

Проверь себя словами: напряжение выросло – ток вырос; сопротивление выросло – ток упал. Если у тебя вышло наоборот, формула перевернута.

Пример. Резистор 1 кОм подключили к 5 В. Переводим: 1 кОм = 1000 Ом. Ток

$I = 5/1000 = 0,005$ А. В миллиамперах: $0,005 \cdot 1000 = 5$ мА.

Пример. Через резистор 470 Ом течёт ток 10 мА. Какое на нём напряжение? $10 \text{ мА} = 0,01$ А.

$U = 0,01 \cdot 470 = 4,7$ В.

Совет. Есть удобная пара единиц: **вольты, делённые на килоомы, дают миллиамперы**. $5 \text{ В} / 1 \text{ кОм} = 5 \text{ мА}$, $9 \text{ В} / 3 \text{ кОм} = 3 \text{ мА}$ – без переводов. Главное – не смешивать: если сопротивление в омах, ток получится в амперах.

Если формулы путаются, нарисуй треугольник: наверху U , внизу рядом I и R . Закрой пальцем то, что ищешь, – останется готовая формула. Закрыл I – видно U над R , то есть U/R . Закрыл U – видно I рядом с R , то есть $I \cdot R$.

Запомни. $I = U/R$. Две другие формы – $U = I \cdot R$ и $R = U/I$ – из неё же. Все числа бери из одной тройки единиц: В, А, Ом или В, кОм, мА.

6.3. Последовательное и параллельное соединение

НА ПАЛЬЦАХ

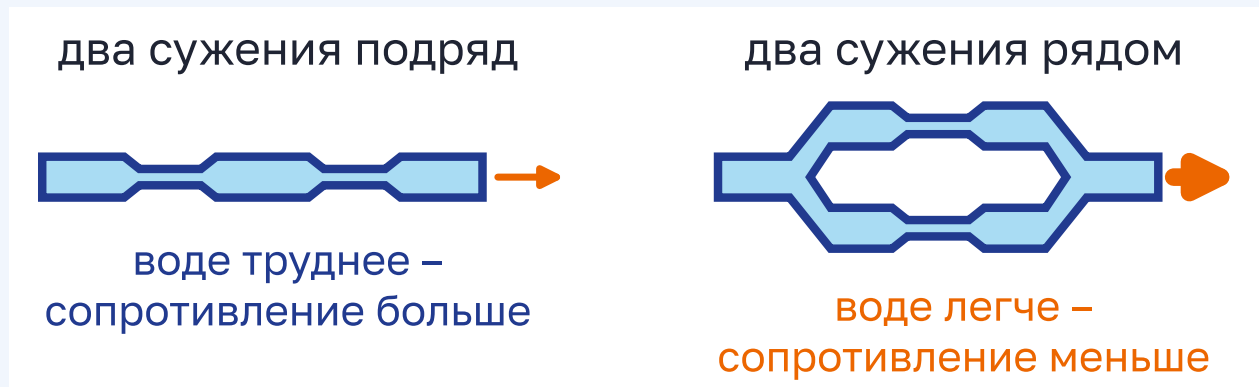


Рисунок 6.4 – Две трубы подряд и две трубы рядом

Сужения подряд мешают воде сильнее. Открыли второй путь рядом – воде стало легче.

Резисторы можно соединить двумя способами.

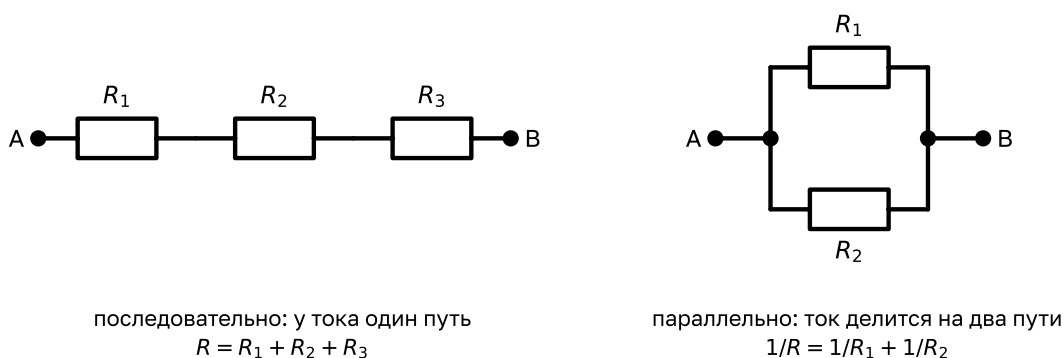


Рисунок 6.5 – Последовательное соединение (слева) – одна дорожка для тока. Параллельное (справа) – ток разделяется на две дорожки и снова сходится

Последовательно – друг за другом, одной цепочкой. Весь ток проходит через каждый резистор по очереди, поэтому **ток через них одинаковый**. Труба с тремя сужениями подряд мешает воде сильнее, чем с одним, – сопротивления складываются:

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

Напряжение источника делится между резисторами, и больше достаётся тому, у кого сопротивление больше. Пример: резисторы 1 кОм и 2 кОм последовательно подключены к 6 В. Общее сопротивление $1 + 2 = 3$ кОм, ток $6/3 = 2$ мА. На первом резисторе $U_1 = 2 \text{ мА} \cdot 1 \text{ кОм} = 2 \text{ В}$, на втором $U_2 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ В}$. Вместе $2 + 4 = 6 \text{ В}$ – всё напряжение источника, ни вольты не потерялось.

У последовательного соединения есть беда: разорвалось в одном месте – погасло всё. Старые ёлочные гирлянды так и собирали: перегорела одна лампочка – темнеет вся гирлянда, и ищи потом, какая.

Параллельно – рядом, концы соединены с концами. Ток разделяется на несколько дорожек. Теперь **одинаковое напряжение** на каждом резисторе, а токи дорожек складываются. Две трубы рядом пропускают больше воды, чем одна, – поэтому общее сопротивление **меньше самого маленького** из резисторов. Формула:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad \text{для двух резисторов удобнее} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Пример: 300 Ом и 600 Ом параллельно. $R = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = \frac{180\,000}{900} = 200$ Ом. Меньше, чем 300, – верно. Частный случай: n одинаковых резисторов параллельно дают в n раз меньше: два по 1 кОм – это 500 Ом.

Вся проводка в квартире – параллельная. Поэтому выключил свет на кухне, а холодильник и телевизор работают: у каждого своя дорожка, и на каждом одинаковое напряжение розетки.

Запомни. Последовательно: ток один и тот же, $R = R_1 + R_2 + \dots$, напряжения складываются. Параллельно: напряжение одно и то же, $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (меньше самого маленького), токи складываются.

6.4. Короткое замыкание

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.6 – Короткое замыкание: ток пошёл в обход лампочки

Ток выбирает самый лёгкий путь. Появился путь без нагрузки – почти весь ток уходит туда, и провод греется.

Короткое замыкание (КЗ) – это когда «+» и «-» источника соединились напрямую, минуя нагрузку: проводом, пинцетом, каплей припоя. Сопротивление такого пути почти ноль, а по закону Ома при маленьком R ток огромный.

Пример. У батарейки АА есть небольшое собственное (внутреннее) сопротивление, пусть 0,2 Ом. Если замкнуть её выводы проводом, ток будет примерно $1,5/0,2 = 7,5$ А. Это в 375 раз больше, чем нужно светодиоду. Батарейка и провод быстро нагреваются, аккумулятор может вздуться и загореться. На плате Arduino КЗ – это, например, провод прямо от 5V к GND или ножка, на которую программа подала 5 В, соединённая прямо с GND. Итог – сгоревшая ножка или плата.

В спутнике КЗ ещё опаснее: одна замкнувшая деталь может посадить общую батарею, и тогда откажет всё сразу. Поэтому схемы проверяют до включения.

Совет. Прежде чем подать питание, проведи пальцем по схеме от «+» до «-». На любом пути должна встретиться нагрузка: резистор, светодиод с резистором, датчик. Нашёл путь «из одних проводов» – это КЗ, переделай.

6.5. Светодиод и резистор к нему

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.7 – Светодиод пропускает ток только в одну сторону

Светодиод – как ниппель велосипедной камеры: внутрь пускает, обратно – нет.

Светодиод – деталь, которая светится, когда через неё идёт ток. Он пропускает ток **только в одну сторону** – как ниппель на колесе велосипеда. Вывод, в который ток входит, называется **анод (+)**, вывод, из которого выходит, – **катод (-)**. На схеме светодиод – треугольник с чертой; треугольник смотрит по направлению тока, черта – это катод. Перевернул светодиод – он просто не горит.

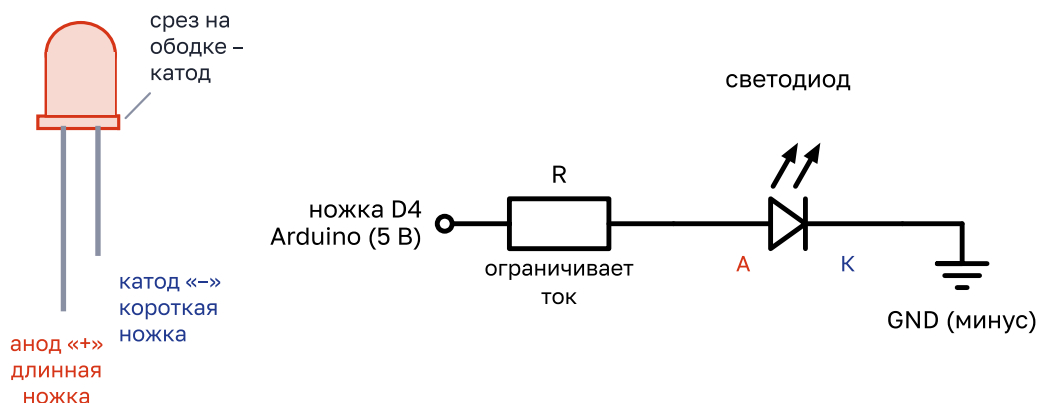


Рисунок 6.8 – Слева – как отличить выводы настоящего светодиода. Справа – правильное подключение к ножке Arduino: через резистор, анодом к плюсу

Как найти анод на настоящей детали: у нового светодиода **длинная ножка – анод (+)**, короткая – катод (-). Если ножки уже подрезаны, смотри на ободок корпуса: со стороны катода он **срезан** (плоский).

У горящего светодиода есть особенность: напряжение на нём почти не зависит от тока. У красного – около 2 В, у синего и белого – около 3 В. Это **прямое напряжение** U_{CB} ; в задачах его дают в условии. Рабочий ток обычного светодиода – до 20 мА, его тоже дают в условии.

Зачем резистор. Светодиод сам ток не ограничивает. Подключишь его прямо к 5 В – ток станет огромным, и светодиод сгорит, а заодно может сгореть ножка Arduino (на одну ножку безопасно брать около 20 мА, а 40 мА – уже предел). Поэтому последовательно со светодиодом ставят резистор. Порядок не важен – до светодиода или после: в последовательной цепи ток один и тот же.

Как рассчитать резистор. Источник даёт U . На светодиоде остаётся U_{CB} , всё остальное напряжение ложится на резистор: $U_R = U - U_{CB}$. Ток через резистор – это ток светодиода I . По закону Ома:

$$R = \frac{U - U_{CB}}{I}.$$

Пример: питание 5 В, красный светодиод 2 В, ток 20 мА = 0,02 А.

$$R = (5 - 2) / 0,02 = 3 / 0,02 = 150 \text{ Ом}.$$

Стандартный ряд. Резисторы продают не любых номиналов, а из стандартного ряда. Самый ходовой – ряд **E12**:

1,0 • 1,2 • 1,5 • 1,8 • 2,2 • 2,7 • 3,3 • 3,9 • 4,7 • 5,6 • 6,8 • 8,2

и эти же числа, умноженные на 10, 100, 1000...: 10, 12, 15 Ом; 100, 120, 150 Ом; 1 кОм, 1,2 кОм, 1,5 кОм и так далее. Если расчёт дал число не из ряда, **берём ближайший больший номинал**. Больше сопротивление – меньше ток, светодиод светит чуть тусклее, зато точно не перегреется. Взять меньший номинал – значит пустить ток больше допустимого.

Запомни. Анод (+) – длинная ножка, катод (-) – короткая, со стороны среза ободка. Светодиод – только через резистор: $R = (U - U_{CB}) / I$, номинал из ряда E12 – ближайший больший.

6.6. Делитель напряжения и потенциометр

НА ПАЛЬЦАХ

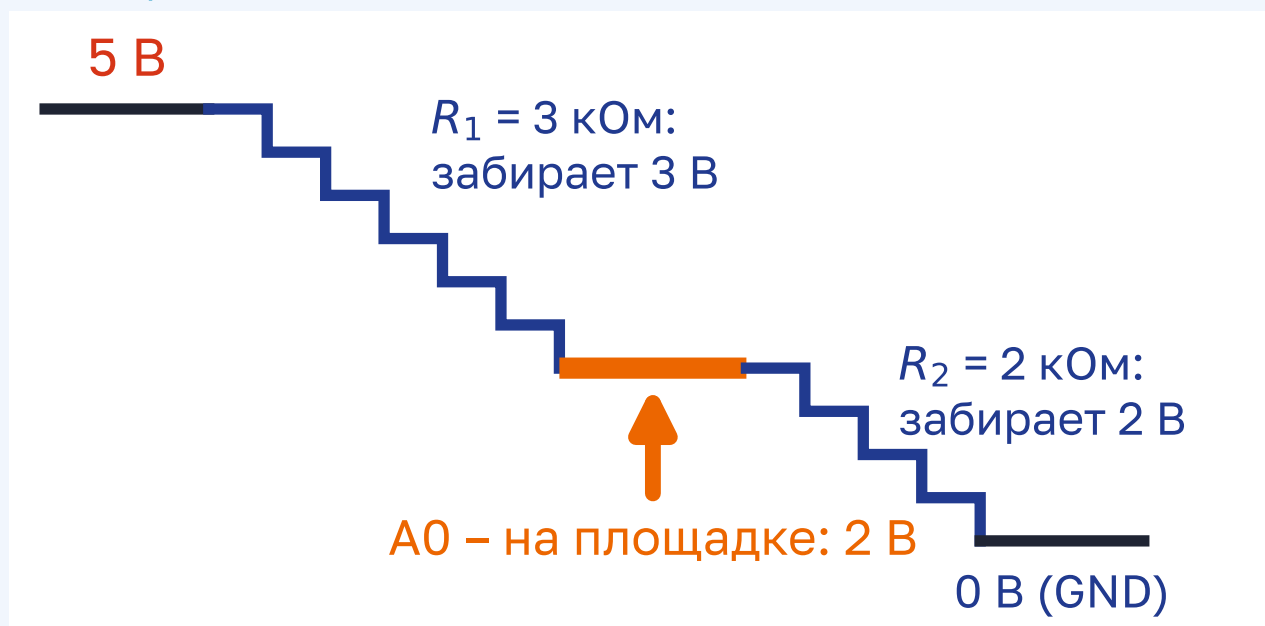


Рисунок 6.9 – Делитель – как две лестницы с площадкой

Пять вольт делятся между двумя резисторами, как высота подъезда между двумя пролётами. Вход A0 стоит на площадке.

Иногда нужно получить напряжение меньше, чем даёт источник. Например, аккумулятор спутника выдаёт 8,4 В, а вход Arduino выдерживает не больше 5 В. Тогда ставят **делитель напряжения** – два резистора последовательно между плюсом и минусом. Напряжение снимают с точки между ними.



Рисунок 6.10 – Слева – делитель из двух резисторов: $U_{\text{вых}}$ снимают с точки между ними. Справа – потенциометр: тот же делитель, но движок можно передвигать

Как посчитать. Через оба резистора течёт один ток (соединение последовательное):
 $I = U_{\text{вх}} / (R_1 + R_2)$. Выходное напряжение – это напряжение на нижнем резисторе:
 $U_{\text{вых}} = I \cdot R_2$. Подставляем и получаем формулу делителя:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

где R_1 – верхний резистор (к плюсу), R_2 – нижний (к GND). Словами: выход – это такая же доля входного напряжения, какую нижний резистор составляет от суммы двух.

Пример. $U_{\text{вх}} = 5$ В, $R_1 = 3$ кОм, $R_2 = 2$ кОм. Доля нижнего: $2 / (3 + 2) = 0,4$.
 $U_{\text{вых}} = 5 \cdot 0,4 = 2$ В. А если резисторы одинаковые, на выходе будет половина входа.

Формула работает, пока от точки выхода почти не берут ток. Вход A0 у Arduino как раз такой – он только «смотрит» на напряжение, поэтому к нему делитель подключают смело.

Потенциометр – резистор с третьим выводом, **движком**, который можно двигать ручкой. Крайние выводы подключают к 5V и GND, движок – к A0. Движок делит сопротивление на две части: сверху R_1 , снизу R_2 , а сумма $R_1 + R_2$ всё время равна полному сопротивлению потенциометра. Крутишь ручку – меняется доля, и на A0 плавно меняется напряжение от 0 до 5 В. Пример: потенциометр 10 кОм, от движка до GND 4 кОм. $U = 5 \cdot 4 / 10 = 2$ В.

Запомни. Делитель: $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, R_2 – нижний (к GND). Одинаковые резисторы – половина напряжения. Потенциометр – делитель, у которого $R_1 + R_2$ постоянно, а доля меняется ручкой.

6.7. analogRead: из напряжения в число

НА ПАЛЬЦАХ

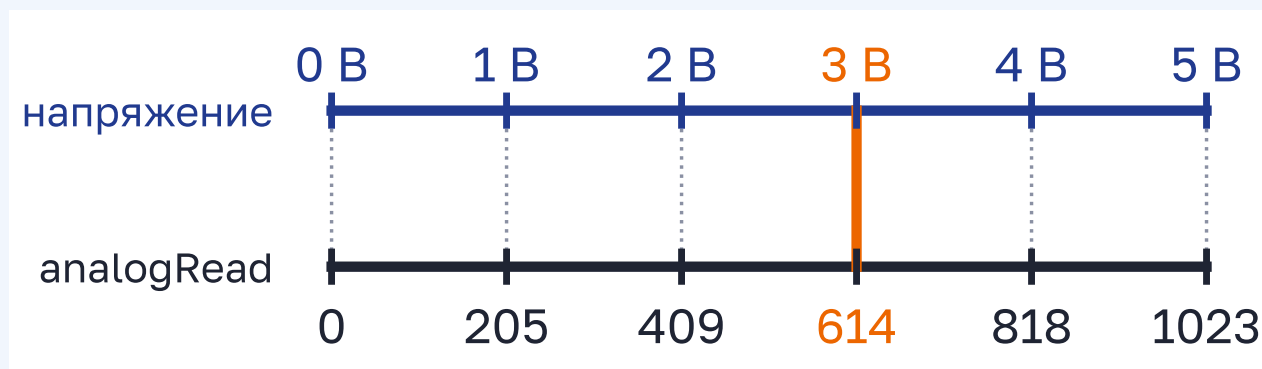


Рисунок 6.11 – Одна и та же шкала – в вольтах и в числах

Arduino меряет напряжение линейкой, на которой вместо вольт от 0 до 5 – числа от 0 до 1023.

У Arduino Uno шесть аналоговых входов, A0...A5. Каждый умеет измерять напряжение от 0 до 5 В. Но микроконтроллер работает только с числами, поэтому функция `analogRead` возвращает не вольты, а **целое число от 0 до 1023**: 0 В → 0, 5 В → 1023, всё, что между, – пропорционально.

$$N = \frac{U}{5 \text{ В}} \cdot 1023, \quad U = N \cdot \frac{5 \text{ В}}{1023}.$$

N округляем до целого – дробных значений `analogRead` не бывает. Почему 1023, а не круглое 1000? Входу доступно 1024 ступеньки (числа от 0 до 1023), это 2^{10} – про двоичные числа подробно в главе 7.

Примеры. $1\text{ В} \rightarrow 1/5 \cdot 1023 = 204,6 \approx 205$. $3\text{ В} \rightarrow 3/5 \cdot 1023 = 613,8 \approx 614$. Обратно: $N = 512 \rightarrow 512 \cdot 5/1023 = 2,50\text{ В}$.

На настоящей плате число может «гулять» на единицу-две, а у реальных резисторов сопротивление чуть отличается от надписи. Поэтому программы никогда не сравнивают результат `analogRead` с одним точным числом – только с диапазоном («от 480 до 860»).

Самая короткая программа, которая показывает число и напряжение с потенциометра на A0:

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // включаем связь с компьютером
}

void loop() {
  int n = analogRead(A0);       // число от 0 до 1023
  float u = n * 5.0 / 1023;     // переводим в вольты
  Serial.print(n);              // печатаем число,
  Serial.print(" ");           // два пробела
  Serial.println(u);            // и напряжение, потом новая строка
  delay(500);                  // ждём полсекунды
}
```

`setup` выполняется один раз при включении, `loop` – по кругу, пока есть питание. `Serial` – это связь с компьютером: всё, что печатает `Serial.println`, появляется в окне «монитор порта» (в Wokwi – под схемой). Если ручка потенциометра стоит посередине, увидишь примерно 512 2.50 : Arduino печатает дробную часть через точку и два знака после неё. Подробнее о языке – в главе 7.

Запомни. `analogRead` даёт целое число от 0 до 1023. $N = U/5 \cdot 1023$, $U = N \cdot 5/1023$. Сравнивают всегда с диапазоном, а не с точным числом.

6.8. Несколько кнопок на одном входе

Ножек у микроконтроллера мало, а кнопок на пульте хочется много. Хитрость: подключить несколько кнопок к **одному** аналоговому входу так, чтобы каждая кнопка давала своё напряжение. Для этого как раз нужен делитель.

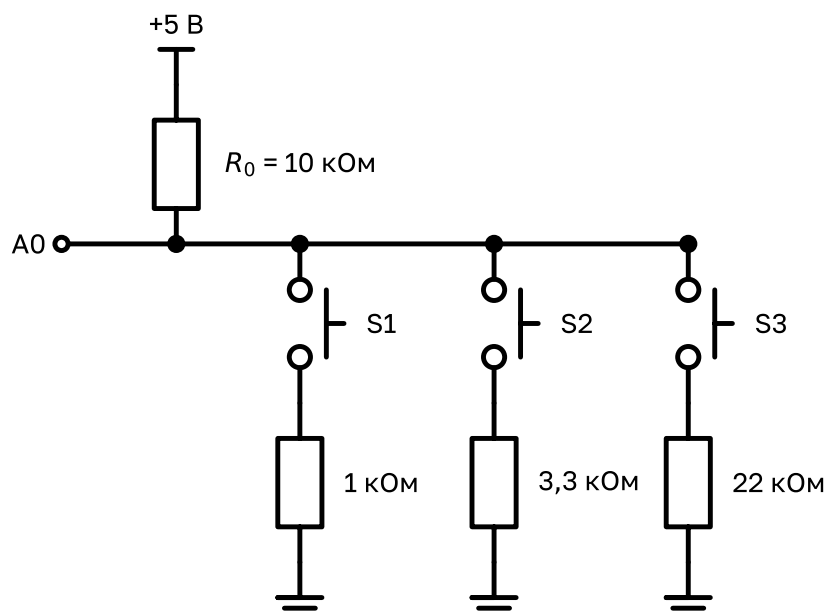


Рисунок 6.12 – Три кнопки на одном входе A0. Каждая кнопка, если её нажать, подключает к A0 свой нижний резистор делителя

Как это работает:

- **Ничего не нажато.** Нижней части делителя нет, а вход A0 ток почти не берёт – значит, тока через R_0 нет. По закону Ома $U = I \cdot R = 0 \cdot R_0 = 0$: на резисторе ничего не «теряется», и на A0 полные 5 В. `analogRead` покажет 1023.
- **Нажата одна кнопка.** Получился делитель: сверху R_0 , снизу резистор этой кнопки. На A0 – $5 \cdot R_{\text{кн}} / (R_0 + R_{\text{кн}})$. У каждой кнопки свой резистор – значит, своё напряжение и своё число.
- **Нажаты две кнопки сразу.** Их резисторы оказываются соединены **параллельно** – нижняя часть делителя становится меньше самого маленького из них, и число падает ещё ниже.

Числа для каждой кнопки считаются заранее, а в программе ставят границы посередине между соседними значениями – тогда небольшие отклонения не сойдут распознавание. Подробный расчёт – в задаче 6.6.

Совет. Резисторы кнопок подбирают так, чтобы числа стояли далеко друг от друга: у нас это 93, 254 и 703. Если бы два значения оказались рядом (например, 250 и 270), любая неточность резистора путала бы кнопки.

6.9. Конденсатор и RC-цепь

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.13 – Бак и ведро, соединённые трубкой

Пустое ведро наполняется быстро, почти полное – еле-еле. Конденсатор заряжается так же.

В Wokwi детали «конденсатор» нет, так что схемы этого раздела и задачу 6.5 там не собрать. Их считают на бумаге или собирают в Tinkercad, если он открывается (про оба симулятора – в разделе 6.11).

Конденсатор – деталь, которая накапливает электрический заряд, как маленькое ведро накапливает воду. Чем больше **ёмкость** конденсатора C , тем больше заряда в него помещается. Ёмкость измеряют в **фарадах** (Ф), но фарад – это очень много, поэтому на обычных конденсаторах пишут микрофарады: **1 мкФ = 0,000 001 Ф**. У больших («электролитических») конденсаторов есть полярность: вывод «–» отмечен полосой на корпусе, путать нельзя. А конденсаторы огромной ёмкости – **ионисторы** – входят в систему питания пикоспутника, с которым работают на сфере; о них – в главе 8.

Если заряжать конденсатор через резистор, получится **RC-цепь** (R – резистор, C – конденсатор). Сначала конденсатор пустой, ток большой, и напряжение на нём растёт быстро. Чем полнее «ведро», тем слабее ток и тем медленнее заряд – как на картинке с баком и ведром.

Скорость заряда задаёт одно число – **постоянная времени** τ («тау»):

$$\tau = R \cdot C.$$

Если R в омах, а C в фарадах, τ получится в секундах. За каждое τ конденсатор набирает известную долю полного напряжения:

Таблица 6.1

Прошло времени	Заряд, % от источника
τ	63
2τ	86
3τ	95
4τ	98

Прошло времени	Заряд, % от источника
5τ	99

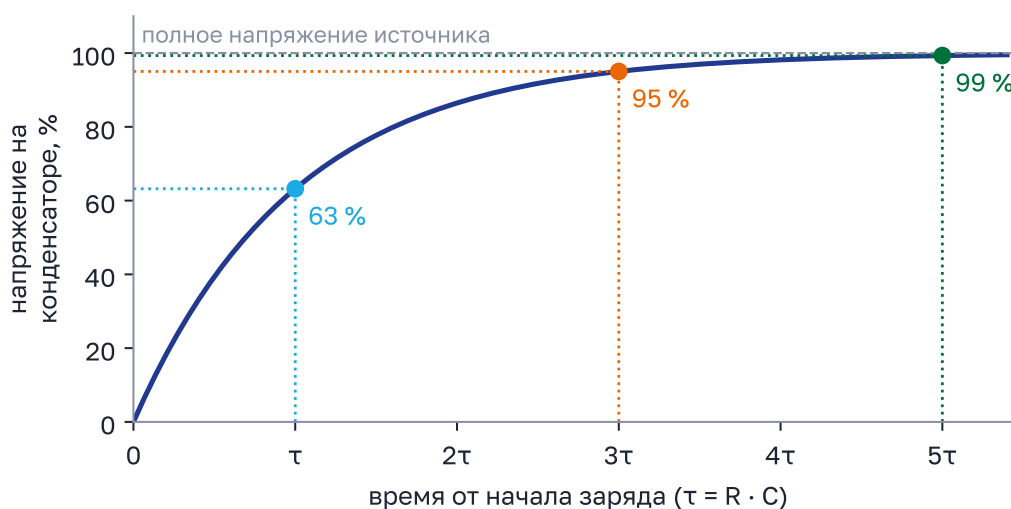


Рисунок 6.14 – Заряд конденсатора через резистор. Быстро в начале, медленно в конце: за 3τ – 95 %, за 5τ – 99 %

Самые нужные строчки: **за 3τ – примерно 95 %, за 5τ – примерно 99 %**, и конденсатор считают заряженным. До полных 100 % он добирается бесконечно долго, но после 5τ до полного заряда остаётся меньше одного процента.

Пример. $R = 1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}$, $C = 100 \text{ мкФ} = 0,0001 \text{ Ф}$. $\tau = 1000 \cdot 0,0001 = 0,1 \text{ с}$. До 95 %: $3 \cdot 0,1 = 0,3 \text{ с}$.

Совет. Килоомы, умноженные на микрофарады, дают миллисекунды: $1 \text{ кОм} \cdot 100 \text{ мкФ} = 100 \text{ мс}$. Так быстрее и без нулей после запятой.

Запомни. $\tau = R \cdot C$ (Ом $\cdot$ Ф = с, кОм $\cdot$ мкФ = мс). За τ – 63 %, за 3τ – 95 %, за 5τ – 99 %.

6.10. Мощность и батарейки: хватит ли заряда

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 6.15 – Одна и та же батарейка при большом и маленьком токе

Ёмкость – это запас. Берёшь большой ток – запаса хватит ненадолго, маленький – надолго.

Мощность показывает, сколько энергии устройство тратит каждую секунду. Измеряется в **ваттах** (Вт):

$$P = U \cdot I.$$

Пример. Плата с датчиками работает от 5 В и берёт 100 мА = 0,1 А. $P = 5 \cdot 0,1 = 0,5$ Вт. На резисторе вся мощность уходит в тепло – поэтому мощные резисторы бывают большими и горячими.

Ёмкость батарейки пишут в миллиампер-часах (МА·ч) – посмотри на свой пауэрбанк, там наверняка стоит что-то вроде 10 000 МА·ч. 2000 МА·ч значит: батарейка может отдавать 2000 МА целый час, или 100 МА – 20 часов. А одному светодиоду на 20 МА её хватит на 100 часов – это больше четырёх суток. Время работы:

$$t = \frac{\text{ёмкость}}{\text{ток}}, \quad \text{МА} \cdot \text{ч} / \text{МА} = \text{ч}.$$

Это упрощение: у настоящей батарейки ёмкость зависит от тока и от температуры (зимой на морозе батарейки садятся заметно быстрее – это знает любой, кто фотографировал на телефон в январе). В задачах, если не сказано иначе, ёмкость считаем постоянной.

Как соединять батарейки.

Последовательно

«+» одной к «-» следующей



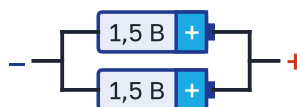
напряжение: $1,5 + 1,5 + 1,5 + 1,5 = 6 \text{ В}$

ёмкость: как у одной – $2000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$

У каждой батарейки: $1,5 \text{ В}$ и $2000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$

Параллельно

«+» к «+», «-» к «-»



напряжение: как у одной – $1,5 \text{ В}$

ёмкость: $2000 + 2000 = 4000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$

Рисунок 6.16 – Одинаковые батарейки $1,5 \text{ В}$, $2000 \text{ мА}\cdot\text{ч}$. Последовательно складываются напряжения, параллельно – ёмкости

- **Последовательно** («+» одной к «-» следующей) **напряжения складываются**, а ёмкость остаётся как у одной: через все батарейки идёт один и тот же ток, и садятся они одновременно. Так в пульте две батарейки АА дают 3 В .
- **Параллельно** («+» к «+», «-» к «-») напряжение как у одной, а **ёмкости складываются**: ток делится между батарейками, и каждая садится медленнее. Параллельно соединяют только одинаковые батарейки с одинаковым зарядом.

Сколько батареек нужно. Считаем в три шага.

1. **По напряжению** – сколько батареек поставить последовательно в одну цепочку: напряжение устройства / напряжение одной батарейки.
2. **По ёмкости** – сколько таких цепочек соединить параллельно: нужная ёмкость = ток устройства · время работы; цепочек = нужная ёмкость / ёмкость одной цепочки, **округляем вверх** (нужно, чтобы хватило).
3. **Всего** = батареек в цепочке · число цепочек.

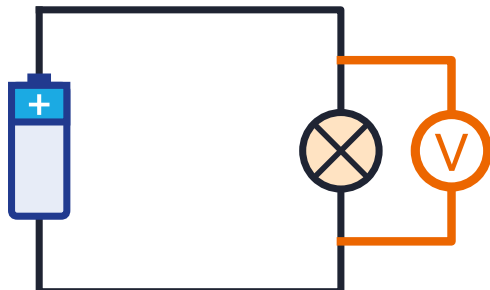
Проверка через энергию: энергия батарейки в ватт-часах = напряжение · ёмкость в ампер-часах. Батарейка $1,5 \text{ В}$ на $2000 \text{ мА}\cdot\text{ч} = 2 \text{ А}\cdot\text{ч}$ хранит $1,5 \cdot 2 = 3 \text{ Вт}\cdot\text{ч}$. Сумма по всем батарейкам должна быть не меньше, чем мощность устройства, умноженная на время работы.

Запомни. $P = U \cdot I$ (Вт). Время работы $t = \text{ёмкость} / \text{ток}$ ($\text{мА}\cdot\text{ч} / \text{мА} = \text{ч}$). Последовательно – складываются вольты, параллельно – $\text{мА}\cdot\text{ч}$. Число батареек: по напряжению – длина цепочки, по ёмкости – число цепочек (вверх).

6.11. Мультиметр, макетная плата и Wokwi

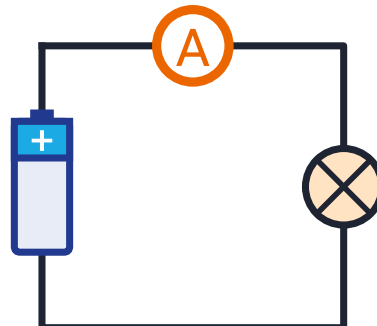
НА ПАЛЬЦАХ

Напряжение



щупы по бокам
лампочки

Ток



разорвали провод – ток
идёт сквозь прибор

Рисунок 6.17 – Вольтметр – сбоку, амперметр – в разрыв

Напряжение меряют, приложив щупы по бокам детали. Ток – пустив его сквозь прибор.

Мультиметр – прибор «три в одном»: вольтметр, амперметр и омметр, режим выбирают ручкой.

- **Напряжение** меряют, прикладывая щупы к двум точкам схемы, – прибор подключён **параллельно** участку.
- **Ток** меряют, разрывая цепь и вставляя прибор в разрыв, – **последовательно**. Так стоит счётчик воды в ванной: прямо в трубе, и вся вода идёт сквозь него.
- **Сопротивление** меряют только у **выключенной** схемы, а лучше у вынутой детали.

В режиме амперметра у мультиметра внутри почти нулевое сопротивление. Если приложить его щупы прямо к батарейке, как вольтметр, получится короткое замыкание – так сгорит предохранитель мультиметра.

Макетная плата (бредборд) – пластиковая панель с дырочками, в которую детали вставляют без пайки. Внутри под дырочками спрятаны металлические полоски.



Рисунок 6.18 – Макетная плата. Каждый столбик из 5 дырочек соединён внутри, длинные шины по краям – вдоль всей длины

Правило простое: **пять дырочек одного столбика – одна точка схемы**. Две ножки детали в одном столбике замкнуты накоротко, поэтому резистор ставят поперёк столбиков, а не вдоль. Верхняя и нижняя половины разделены канавкой. По краям идут шины питания «+» и «-»: к ним подводят 5V и GND, чтобы потом брать питание короткими перемычками. На некоторых длинных платах шины разрезаны посередине – проверь мультиметром или посмотри на разрыв в цветной линии.

Wokwi (wokwi.com) – бесплатный симулятор Arduino прямо в браузере. Ничего не сгорит, даже если ошибёшься. Tinkercad (tinkercad.com, раздел Circuits) умеет похожее, и конденсатор в нём есть, но просит завести аккаунт – делайте это вместе со взрослым. Если Wokwi на твоём компьютере не открывается, собирай схемы в Tinkercad, а конденсатор считай на бумаге. Первая схема в Wokwi:

1. Открой wokwi.com и начни новый проект с платой **Arduino Uno**. Слева – окно кода, справа – схема с платой.
2. Кнопкой «+» над схемой добавь детали: **LED** (светодиод) и **Resistor** (резистор).
3. Щёлкни по резистору и в поле сопротивления впиши **220** (Ом) – как в задаче 6.2.
4. Провод тянется так: щёлкни по выводу детали, потом по другому выводу. Поворот детали – клавиша **R**, удалить выделенный провод – клавиша **Delete**.
5. Собери цепь: **5V** → резистор → **анод** светодиода; **катод** → **GND**. Наведи мышку на ножку светодиода – Wokwi подпишет её: `led1:A` – анод, `led1:C` – катод (смотри на букву после двоеточия).
6. Нажми зелёную кнопку запуска. Светодиод горит, хотя программа пустая: он подключён прямо к питанию. Поменяй анод с катодом – гореть перестанет.
7. Вторая схема: добавь **Potentiometer**. Его крайние выводы – к 5V и GND, средний (SIG) – к **A0**. Вставь программу из раздела 6.7, запусти и крути ручку – в мониторе порта побегут числа от 0 до 1023. Сразу после добавления ручка стоит на нуле, поэтому первым будет 0, а 512 из примера появится, когда повернёшь её до середины.

После запуска Wokwi несколько секунд собирает программу: без входа в аккаунт он ставит её в очередь и показывает надпись про платный тариф. Платить не нужно, просто подожди – у нас дольше 15 секунд не выходило. Проект можно скачать архивом через стрелку рядом с кнопкой **Save** (пункт Download project ZIP), чтобы открыть его потом.

Совет. Собирая схему, иди от плюса к минусу и называй вслух каждую точку: «5V – резистор – анод – катод – GND». Так сразу видно и пропущенный провод, и короткое замыкание.

6.12. Разбираем задачи

Задача 6.1 Ток через резистор

разминка · закон Ома, перевод единиц

В схеме датчика резистор 2,2 кОм подключён к питанию 5 В. Какой ток течёт через резистор? Ответ дай в миллиамперах, округли до десятых.

Дано: $U = 5 \text{ В}$; $R = 2,2 \text{ кОм}$.

Найти: $I - ?$

Решение

Шаг 1. Переводим единицы. $R = 2,2 \text{ кОм} = 2,2 \cdot 1000 = 2200 \text{ Ом}$.

Шаг 2. Закон Ома. $I = U/R = 5/2200 = 0,00227 \text{ А}$.

Шаг 3. В миллиамперы. В 1 А – 1000 мА: $0,00227 \cdot 1000 = 2,27 \text{ мА} \approx 2,3 \text{ мА}$.

Короткий путь. Вольты на килоомы – сразу миллиамперы: $5/2,2 = 2,27 \text{ мА}$.

Прикинем в уме. 5 В на 1 кОм дали бы 5 мА. Сопротивление примерно вдвое больше – ток примерно вдвое меньше. 2,3 мА – похоже.

⚠ Где теряют баллы. Делят 5 на 2,2 и пишут «2,27 А». Килоомы не переведены в омы – ответ больше верного в 1000 раз. Такой ток сжёг бы и резистор, и Arduino.

Ответ: 2,3 мА.

Своя задача по программе сферы, модуль 4

Реши сам

6.1. Резистор 450 Ом подключили к батарейке «Крона» 9 В. Какой ток течёт через резистор? Ответ – в миллиамперах.

6.2. Через нагреватель аккумулятора спутника сопротивлением 20 Ом идёт ток 250 мА. Какое напряжение на нагревателе? Ответ – в вольтах.

Задача 6.2 Резистор для светодиода

светодиод, закон Ома, стандартный ряд

Светодиод-индикатор спутника подключают к ножке Arduino, которая даёт 5 В. У светодиода прямое напряжение 2,0 В, по паспорту ему нужен ток 15 мА. Резисторы есть только из ряда E12 (раздел 6.5). Какой резистор поставить? Ответ – номинал в омах.

Дано: $U = 5$ В; $U_{\text{св}} = 2,0$ В; $I = 15$ мА; ряд E12.

Найти: R – ?

Решение

Шаг 1. Смотрим на схему. Светодиод и резистор соединены последовательно, ток у них общий – 15 мА. На светодиоде остаётся 2 В, остальное напряжение должен «забрать» резистор.

Шаг 2. Напряжение на резисторе. $U_R = 5 - 2 = 3$ В.

Шаг 3. Переводим ток. $15 \text{ мА} = 15/1000 = 0,015 \text{ А}$.

Шаг 4. Сопротивление. $R = U_R/I = 3/0,015 = 200 \text{ Ом}$.

Шаг 5. Выбираем из ряда. Рядом с 200 в ряду E12 стоят 180 и 220 Ом. Берём **больший** – 220 Ом.

Шаг 6. Проверяем ток с настоящим резистором. $I = 3/220 = 0,0136 \text{ А} = 13,6 \text{ мА}$. Это меньше 15 мА – светодиод в безопасности, а на глаз разницу в яркости не заметить.

А ножке Arduino не тяжело? 13,6 мА – меньше 20 мА, которые с неё можно брать. И номинал знакомый: резисторы на 150–330 Ом – самые ходовые для светодиодов, 220 Ом среди них.

 **Типичная ошибка.** Забыть вычесть напряжение светодиода: $5/0,015 = 333 \text{ Ом}$, из ряда – 390 Ом. Светодиод будет гореть, но ток окажется $3/390 = 7,7 \text{ мА}$ вместо 15 – вдвое тусклее. А кто возьмёт ближайший меньший номинал 180 Ом, получит ток $3/180 = 16,7 \text{ мА}$ – больше разрешённых 15.

Ответ: 220 Ом.

Своя задача по программе сферы, модуль 4

Реши сам

6.3. Зелёный светодиод (прямое напряжение 2,2 В, ток 10 мА) подключают к 5 В через резистор. Какой номинал из ряда E12 выбрать? Ответ – в омах.

6.4. Красный светодиод (прямое напряжение 2,0 В, ток 20 мА) хотят питать от батарейки «Крона» 9 В. Какой резистор из ряда E12 нужен? Какой ток пойдёт через светодиод с этим резистором? Ответ – номинал в омах и ток в миллиамперах, округли до десятых.

6.5. Через резистор 150 Ом идёт ток 20 мА. Какая мощность выделяется на нём в виде тепла? Ответ – в милливаттах (1 Вт = 1000 мВт).

Задача 6.3 Смешанное соединение

последовательное и параллельное соединение, закон Ома

В схеме на рисунке батарея даёт 6 В. Найди а) общее сопротивление цепи в омах; б) ток через резистор R_2 в миллиамперах, округли до десятых.

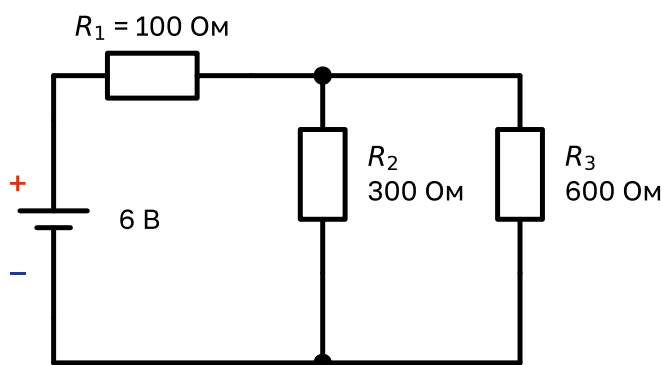


Рисунок 6.19 – Резистор R_1 соединён последовательно с парой R_2 и R_3 , которые стоят параллельно

Дано: $U = 6$ В; $R_1 = 100$ Ом; $R_2 = 300$ Ом; $R_3 = 600$ Ом.

Найти: $R_{\text{общ}}$ – ?, I_2 – ?

Решение

Шаг 1. Куда идёт ток. От плюса он проходит через R_1 , потом делится на две дорожки – через R_2 и через R_3 – и снова сходится. Значит, R_2 и R_3 стоят параллельно, а вся эта пара – последовательно с R_1 . Сначала заменим пару одним резистором.

Шаг 2. Пара R_2 и R_3 . $R_{23} = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = \frac{180\,000}{900} = 200$ Ом.

Шаг 3. Вся цепь. $R_{\text{общ}} = R_1 + R_{23} = 100 + 200 = 300$ Ом.

Шаг 4. Общий ток. $I = 6/300 = 0,02$ А = 20 мА. Весь он проходит через R_1 .

Шаг 5. Напряжение на паре. $U_{23} = I \cdot R_{23} = 0,02 \cdot 200 = 4$ В. Оставшиеся $6 - 4 = 2$ В приходятся на R_1 (проверка: $0,02 \cdot 100 = 2$ В – сходится).

Шаг 6. Ток через R_2 . На R_2 те же 4 В (параллельно – напряжение одинаковое):

$I_2 = 4/300 = 0,013\,33$ А = 13,3 мА.

Посчитаем вторую дорожку. Через R_3 идёт $4/600 = 6,7$ мА. Вместе $13,3 + 6,7 = 20$ мА – весь общий ток. И больший ток пошёл через меньший резистор – как вода охотнее течёт по широкой трубе.

⚠ **Типичная ошибка.** Сложить все три резистора: $100 + 300 + 600 = 1000$ Ом. Так можно только при последовательном соединении, а здесь ток делится. Ещё одна ловушка – посчитать ток через R_2 по полному напряжению: $6/300 = 20$ мА. Но на паре не 6 В, а 4 В: часть напряжения «съел» R_1 .

Ответ: а) 300 Ом; б) 13,3 мА.

Своя задача по программе сферы, модуль 4

Реши сам

6.6. Резисторы 220 Ом, 330 Ом и 470 Ом соединили последовательно. Каково их общее сопротивление? Ответ – в омах.

6.7. Резисторы 2 кОм и 3 кОм соединили параллельно. Каково их общее сопротивление? Ответ – в килоомах.

6.8. Какое подключение мультиметра к батарейке вызовет короткое замыкание? Выбери один вариант. А) вольтметр прямо к выводам батарейки; Б) амперметр в разрыв провода, последовательно с лампочкой; В) амперметр прямо к выводам батарейки; Г) омметр к резистору, вынутому из схемы.

Задача 6.4 Следим за аккумулятором спутника

делитель напряжения, `analogRead`

Бортовой компьютер спутника следит за аккумулятором, который заряжен до 8,4 В. Вход А0 выдерживает не больше 5 В, поэтому аккумулятор подключают через делитель: верхний резистор $R_1 = 22$ кОм, нижний $R_2 = 10$ кОм. а) Какое число покажет `analogRead(A0)` у полностью заряженного аккумулятора? б) Через месяц `analogRead` показывает 500. Какое напряжение у аккумулятора? Округли до десятых вольт.

Дано: $U_{\text{ак}} = 8,4$ В; $R_1 = 22$ кОм; $R_2 = 10$ кОм; $N_2 = 500$.

Найти: N_1 – ?, $U_{\text{ак}, 2}$ – ?

Решение

Шаг 1. Доля делителя. Нижний резистор составляет

$R_2 / (R_1 + R_2) = 10 / (22 + 10) = 10 / 32 = 0,3125$ от суммы. Значит, на А0 попадает 0,3125 напряжения аккумулятора. Килоомы здесь переводить не нужно: они сокращаются.

Шаг 2. Напряжение на А0. $U_{A0} = 8,4 \cdot 0,3125 = 2,625$ В. Меньше 5 В – вход в безопасности.

Шаг 3. Число. $N_1 = 2,625 / 5 \cdot 1023 = 537,08 \approx 537$.

Шаг 4. Обратный путь: число → напряжение на А0. $U_{A0} = 500 \cdot 5 / 1023 = 2,444$ В.

Шаг 5. Напряжение на А0 → напряжение аккумулятора. На А0 – только 0,3125 от аккумулятора, значит, делим: $U_{\text{ак}, 2} = 2,444 / 0,3125 = 7,82$ В $\approx 7,8$ В.

Проверка разумности. Число упало с 537 до 500 – примерно на 7 %. Напряжение упало с 8,4 до 7,8 В – тоже примерно на 7 %. Число пропорционально напряжению, поэтому проценты и совпали.

 **Типичная ошибка.** Взять долю верхнего резистора: $22/32$. Тогда на А0 выйдет 5,78 В – больше 5 В, и сразу видно, что что-то не так. В формуле делителя в числителе всегда нижний резистор – тот, что между А0 и GND. А в пункте б) часто отвечают 2,4 В: это напряжение на А0, а спрашивали про аккумулятор.

Ответ: а) 537; б) 7,8 В.

Реши сам

6.9. Делитель подключён к 5 В: верхний резистор 6,8 кОм, нижний 3,3 кОм. Какое напряжение на выходе делителя? Округли до сотых вольт.

6.10. Потенциометр 10 кОм подключён крайними выводами к 5V и GND, движок – к A0. Движок повернули так, что между ним и GND оказалось 3 кОм. Какое число покажет `analogRead(A0)` ? Округли до целого.

6.11. Датчик света подключён к A0, и `analogRead(A0)` показывает 614. Какое напряжение на входе? Округли до сотых вольт.

Задача 6.5 Сколько заряжается конденсатор*RC-цепь, постоянная времени, `analogRead`*

Конденсатор ёмкостью 10 мкФ заряжается от ножки D2 Arduino (5 В) через резистор 22 кОм. Вход A0 следит за напряжением на конденсаторе (схема на рисунке). а) Через сколько миллисекунд после включения конденсатор зарядится до 95 % напряжения? б) Какое число `analogRead(A0)` соответствует 95 %? Округли до целых.

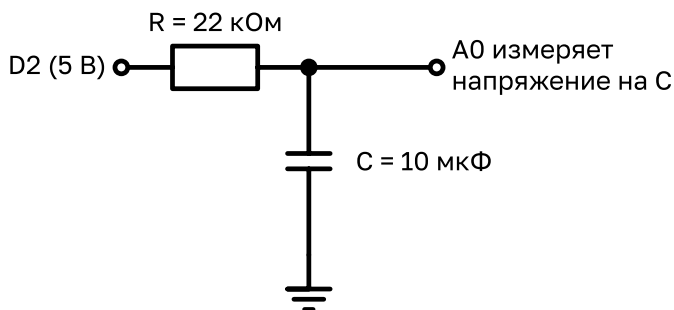


Рисунок 6.20 – Конденсатор C заряжается от ножки D2 через резистор R, вход A0 измеряет напряжение на нём

Дано: $R = 22 \text{ кОм}$; $C = 10 \text{ мкФ}$; $U = 5 \text{ В}$; 95 %.

Найти: $t_{95} - ?$, $N_{95} - ?$

Решение

Шаг 1. Переводим единицы. $R = 22 \text{ кОм} = 22\,000 \text{ Ом}$. $C = 10 \text{ мкФ} = 10 \cdot 0,000\,001 = 0,000\,01 \text{ Ф}$.

Шаг 2. Постоянная времени. $\tau = R \cdot C = 22\,000 \cdot 0,000\,01 = 0,22 \text{ с}$.

Шаг 3. До 95 %. По таблице 95 % – это 3τ : $t = 3 \cdot 0,22 = 0,66 \text{ с} = 660 \text{ мс}$.

Короткий путь. $\text{кОм} \cdot \text{мкФ} = \text{мс}$: $22 \cdot 10 = 220 \text{ мс}$, $3 \cdot 220 = 660 \text{ мс}$.

Шаг 4. Число для 95 %. 95 % от 5 В – это 4,75 В.

$N = 4,75/5 \cdot 1023 = 0,95 \cdot 1023 = 971,85 \approx 972$. Программа-тестер так и делает: засе-

кает время и ждёт, пока `analogRead(A0)` не дойдёт до 972.

Много это или мало? Две трети секунды – заметно глазом, но быстро. Если взять конденсатор в 10 раз больше, ждать пришлось бы 6,6 с – так по времени заряда и узнают ёмкость.

❗ **Самая частая ошибка** – ответить $\tau = 220$ мс: за одно τ конденсатор набирает только 63 %, а не 95 %. Бывает и хуже: перевести мкФ как 0,001 Ф (это миллифарад) – получится 660 секунд, одиннадцать минут вместо мгновения.

Ответ: а) 660 мс; б) 972.

По мотивам пробной задачи отборочного тура НТИ Junior 2019 года «Схема для тестирования конденсаторов»

Реши сам

6.12. Конденсатор 47 мкФ заряжается через резистор 100 кОм. Через сколько секунд он зарядится до 95 %? Округли до десятых.

6.13. Таймер в модели спутника: конденсатор 100 мкФ должен зарядиться через резистор до 95 % ровно за 3 секунды. Какой резистор нужен? Ответ – в килоомах.

Задача 6.6* Три кнопки на одной ножке

делитель напряжения, параллельное соединение, `analogRead`, C++

На пульте управления три кнопки S1, S2, S3 подключены к одному входу A0 по схеме из раздела 6.8: к +5 В через $R_0 = 10$ кОм, а каждая кнопка при нажатии соединяет A0 с GND через свой резистор: S1 – 1 кОм, S2 – 3,3 кОм, S3 – 22 кОм. Функция `read_buttons` получает число `x` от `analogRead(A0)` и должна вернуть, какая кнопка нажата (`BTN_...` – заранее объявленные в программе коды ответов). Но названия кнопок в ней перепутались. Расставь `BTN_NONE` (ничего не нажато), `BTN_S1`, `BTN_S2`, `BTN_S3` вместо пропусков ???.

```
int read_buttons(int x) {
    if (x ≥ 860)          return ???;
    if (x ≥ 480 && x < 860) return ???;
    if (x ≥ 170 && x < 480) return ???;
    if (x ≥ 45 && x < 170)  return ???;
    return BTN_OTHER;      // непонятное значение
}
```

Дано: $U = 5$ В; $R_0 = 10$ кОм; $R_{S1} = 1$ кОм; $R_{S2} = 3,3$ кОм; $R_{S3} = 22$ кОм.

Найти: какое число `analogRead` соответствует каждому состоянию и какой диапазон какой кнопке.

Решение

Шаг 1. План. Для каждого состояния пульта – ничего не нажато, S1, S2, S3 – считаем число, а потом смотрим, в какой диапазон оно попадает.

Шаг 2. Ничего не нажато. Тока через R_0 нет, на нём нет потерь: на A0 все 5 В. $N = 1023$.

Шаг 3. Нажата S1. Делитель: сверху 10 кОм, снизу 1 кОм. $U = 5 \cdot 1 / (10 + 1) = 0,455$ В.
 $N = 0,455 / 5 \cdot 1023 = 93$.

Шаг 4. Нажата S2. $U = 5 \cdot 3,3 / (10 + 3,3) = 5 \cdot 3,3 / 13,3 = 1,241$ В.
 $N = 1,241 / 5 \cdot 1023 = 253,8 \approx 254$.

Шаг 5. Нажата S3. $U = 5 \cdot 22 / (10 + 22) = 5 \cdot 22 / 32 = 3,438$ В.
 $N = 3,438 / 5 \cdot 1023 = 703,3 \approx 703$.

Шаг 6. Раскладываем по диапазонам. 1023 – в диапазоне «860 и больше»; 703 – между 480 и 860; 254 – между 170 и 480; 93 – между 45 и 170. Границы в функции стоят как раз примерно посередине между соседними значениями: $(1023 + 703) / 2 = 863$,
 $(703 + 254) / 2 = 478,5$, $(254 + 93) / 2 = 173,5$.

```
int read_buttons(int x) {  
    if (x ≥ 860)           return BTN_NONE;    // около 1023  
    if (x ≥ 480 && x < 860) return BTN_S3;     // около 703  
    if (x ≥ 170 && x < 480) return BTN_S2;     // около 254  
    if (x ≥ 45 && x < 170)  return BTN_S1;     // около 93  
    return BTN_OTHER;      // непонятное значение  
}
```

Шаг 7. А если нажать две кнопки? Например, S1 и S2 сразу: их резисторы стоят параллельно,
 $R = \frac{1 \cdot 3,3}{1 + 3,3} = 0,767$ кОм. $U = 5 \cdot 0,767 / (10 + 0,767) = 0,356$ В, $N = 73$. Это попадает в диапазон S1 – наша простая схема такие сочетания не различает, и в задаче этого не требуется.

Проверим без чисел. Чем больше резистор кнопки, тем больше доля нижней части делителя и тем ближе число к 1023. У S3 самый большой резистор – у неё и самое большое число среди кнопок.

 **Типичная ошибка.** Решить, что «первая кнопка – самое большое число», и расставить кнопки по порядку сверху вниз. Число зависит не от номера кнопки, а от её резистора. Другие забывают, что без нажатия на A0 полные 5 В, и отдают диапазон «860 и больше» какой-нибудь кнопке.

Ответ: сверху вниз: BTN_NONE (≥ 860), BTN_S3 (480...859), BTN_S2 (170...479), BTN_S1 (45...169). Числа: ничего – 1023, S1 – 93, S2 – 254, S3 – 703.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Экономим пины: кнопки с делителем напряжения»

Реши сам

6.14. Две кнопки подключены к A0 по схеме из раздела 6.8: к +5 В через 10 кОм, кнопка А замыкает A0 на GND через 4,7 кОм, кнопка В – через 15 кОм. `analogRead(A0)` показал 610. Какая кнопка нажата: А, В или никакая?

6.15.* Две кнопки подключены к А0 по схеме из раздела 6.8: к +5 В через резистор 4,7 кОм, кнопка А замыкает А0 на GND через 2,2 кОм, кнопка В – через 6,8 кОм. Какое число покажет `analogRead(A0)`, если нажать обе кнопки сразу? Округли до целого.

Задача 6.7* Сколько батареек взять в экспедицию

батарейки, ёмкость, последовательное и параллельное соединение, округление вверх

Школьная метеостанция будет двое суток работать на льду Обского моря без розетки. Ей нужно 6 В, она берёт ток 150 мА и должна проработать 40 часов. Есть одинаковые батарейки АА: 1,5 В, ёмкость 2400 мА·ч. Сколько батареек нужно взять, чтобы заряда точно хватило? Ёмкость на морозе считаем неизменной.

Дано: $U = 6$ В; $I = 150$ мА; $t = 40$ ч; одна батарейка – 1,5 В, 2400 мА·ч.

Найти: число батареек – ?

Решение

Шаг 1. Почему одной мало. Одна батарейка не подходит ни по напряжению (1,5 В вместо 6 В), ни по запасу. Напряжение наберём последовательным соединением, запас – параллельным.

Шаг 2. По напряжению. $6/1,5 = 4$ батарейки последовательно в одной цепочке. Цепочка даёт 6 В и 2400 мА·ч.

Шаг 3. Сколько проработает одна цепочка. $t_1 = 2400/150 = 16$ ч. Мало: нужно 40 ч.

Шаг 4. Сколько нужно цепочек. Нужная ёмкость $150 \cdot 40 = 6000$ мА·ч. Цепочек: $6000/2400 = 2,5$. Половину цепочки поставить нельзя, а двух не хватит (они продержатся $2 \cdot 16 = 32$ ч). **Округляем вверх:** 3 цепочки, соединённые параллельно, – это 7200 мА·ч, хватит на $7200/150 = 48$ ч.

Шаг 5. Всего. $4 \cdot 3 = 12$ батареек.

Проверка через энергию. Станции нужно $6 \cdot 0,15 \cdot 40 = 36$ Вт·ч. В 12 батарейках $12 \cdot 1,5 \cdot 2,4 = 43,2$ Вт·ч – больше, чем нужно. А 8 батареек дали бы только 28,8 Вт·ч – мало.

Проверить себя можно и кодом:

```
from math import ceil

v_dev, i_dev, hours = 6, 150, 40    # В, мА, ч
v_bat, cap = 1.5, 2400              # В, мА·ч

in_chain = ceil(v_dev / v_bat)      # батареек в цепочке
chains = ceil(i_dev * hours / cap)   # цепочек параллельно
print(in_chain, chains, in_chain * chains) # 4 3 12
```

`ceil` – это округление вверх до целого.

И по-житейски. 12 пальчиковых батареек – это три упаковки по четыре. Для двух суток работы на морозе звучит реально.

 **Ошибка номер один** в таких задачах – округлить 2,5 цепочки вниз, до 2, и взять 8 батареек – станция замолчит через 32 часа. Округлять вниз можно, когда считают, сколько штук **поместится**; когда нужно, **чтобы хватило**, – только вверх. Другая крайность – соединить все батарейки последовательно, «чтобы было мощнее»: 12 штук дадут 18 В и сожгут станцию, а ёмкость так и останется 2400 мА·ч.

Ответ: 12 батареек (3 параллельные цепочки по 4 последовательно).

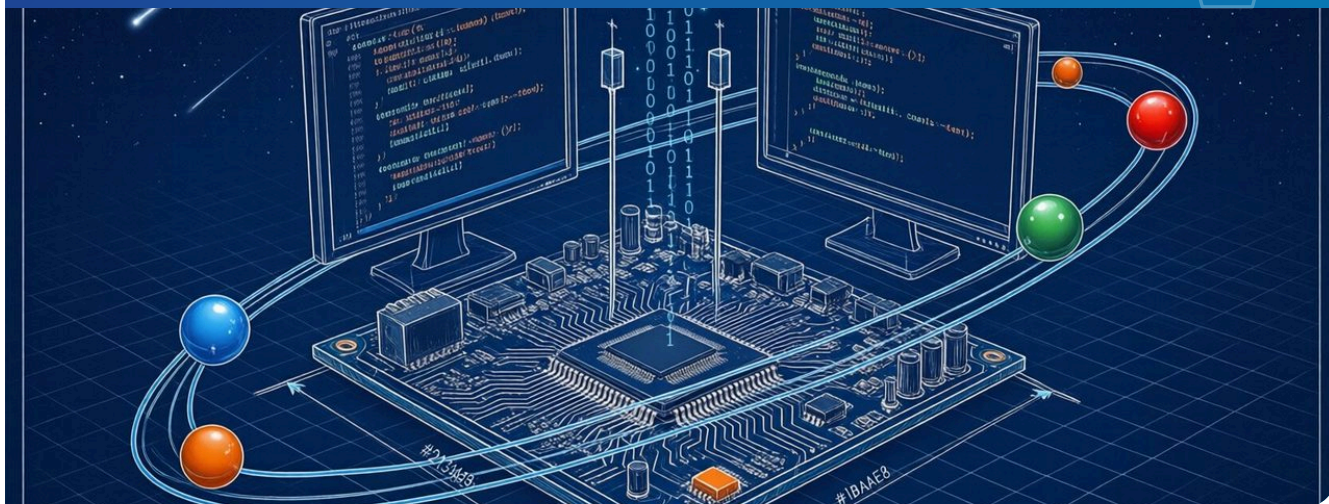
Своя задача по программе сферы, модуль 4

Реши сам

6.16. Четыре батарейки АА (каждая 1,5 В и 2500 мА·ч) соединили последовательно и подключили к фонарю, который берёт 125 мА. а) Какое напряжение получил фонарь? б) Сколько часов он проработает?

6.17.* Радиомаяку для зонда нужно 9 В и ток 200 мА, работать он должен 25 часов. Есть батарейки АА по 1,5 В и 2000 мА·ч. Сколько батареек нужно, чтобы заряда точно хватило?

Программирование: Arduino и Python



Спутник не звонит на Землю спросить, когда включить передатчик: всё, что он делает, ему заранее написали в программе. Здесь ты научишься читать и писать такие программы – на C++ для платы Arduino и на Python. На отборе код встречается в четырёх видах: расставить перемешанные строки, сказать, что выведет программа, найти ошибку и написать функцию, которую проверяющая система сама прогонит на тестах. Ни разу не программировал? Начни с первого раздела и набирай примеры руками, а не копируй: код, который прошёл через пальцы, запоминается в разы лучше.

7.1. Программа, переменные и типы

НА ПАЛЬЦАХ

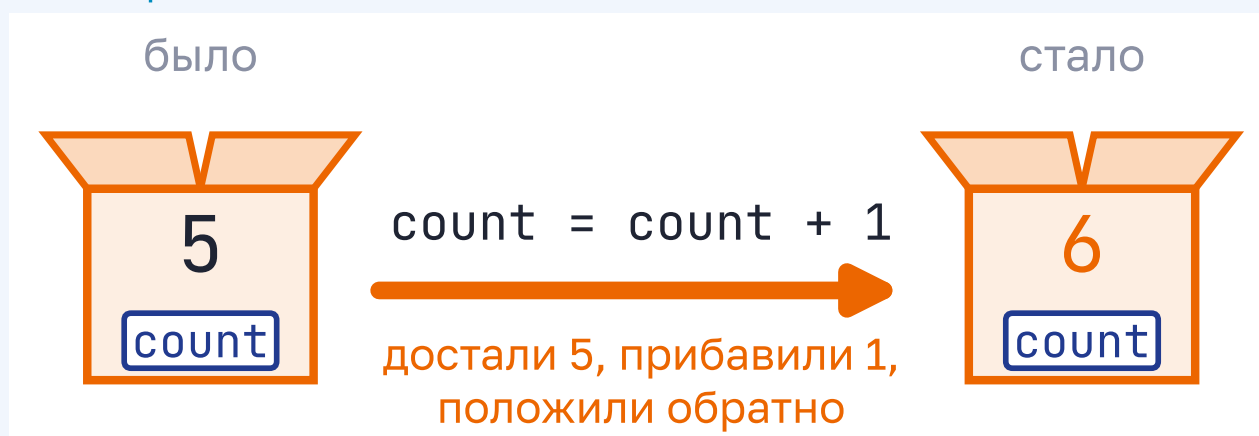


Рисунок 7.1 – Переменная – коробочка с наклейкой

Переменная – коробочка с именем. Знак `=` значит «положи в коробочку», а не «равно».

Алгоритм – точный порядок действий, который приводит к результату. Рецепт блинов – алгоритм: «разбей два яйца, влей стакан молока, размешай». **Программа** – тот же алгоритм, но записанный на языке, который понимает компьютер. Компьютер выполняет строки **по очереди, сверху вниз**, и ничего не додумывает. Напишешь «влей молоко» раньше, чем «возьми миску», – он честно выльет молоко на стол.

Программа хранит числа и слова в **переменных**. Переменная – это подписанная коробочка в памяти: у неё есть имя и содержимое. В C++ (на нём пишут для Arduino) каждую коробочку нужно **объявить**: сказать, как она называется и что в ней будет лежать. Что лежит – называется **тип**.

Таблица 7.1

Тип	Что хранит	Пример
<code>int</code>	целое число	<code>int count = 5;</code>
<code>float</code>	дробное число (с точкой!)	<code>float volt = 3.3;</code>
<code>bool</code>	«да» или «нет»: <code>true</code> / <code>false</code>	<code>bool ready = false;</code>
<code>char</code>	один символ, в одинарных кавычках	<code>char letter = 'S';</code>
<code>String</code>	строку – цепочку символов, в двойных кавычках	<code>String name = "Pico";</code>

Коробочка `int` на Arduino Uno маленькая: в неё влезают целые числа только от -32 768 до 32 767. Сложишь в `int` 30 000 и 10 000 – получишь не 40 000, а отрицательное число -25 536. Для больших чисел есть типы побольше, один из них встретится в разделе 7.6.

В коде дробную часть отделяют **точкой**: 3.3, а не 3,3. Каждая команда в C++ заканчивается точкой с запятой `;` – забыл её, и программа не соберётся. Текст после `//` – **комментарий**:

компьютер его пропускает, он для людей.

Знак `=` в программе – не «равно», а **«положи в коробочку»**. Строка `count = count + 1;` значит: возьми то, что лежит в `count`, прибавь 1 и положи обратно. Было 5 – стало 6. Для сравнения «равно ли» есть отдельный знак – двойной `==`.

На делении целых чисел спотыкаются почти все новички. Если оба числа целые, C++ делит **нацело** и отбрасывает дробную часть: `17 / 5` даёт 3, а не 3,4. Остаток от деления даёт знак `%`: `17 % 5` равно 2 (ведь $17 = 5 \cdot 3 + 2$).

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    int a = 17;
    int b = 5;
    float c = 17.0 / 5;
    bool hot = a > 20;
    Serial.println(a / b);    // 3    - целое деление
    Serial.println(a % b);    // 2    - остаток
    Serial.println(c);        // 3.40 - одно число дробное, деление обычное; Arduino печатает
                               2 знака после точки
    Serial.println(hot);      // 0    - «ложь» печатается как 0, «истина» – как 1
}

void loop() {
}
```

Про `setup`, `loop` и `Serial.println` мы подробно поговорим в разделе 7.3, а пока достаточно знать: `Serial.println(x)` печатает `x` на экран компьютера и переходит на новую строку.

Запомни. `=` кладёт, `==` спрашивает. Целое делим на целое – получаем целое: `7 / 2` даёт 3, а `7 % 2` – остаток 1. Нужна дробь – сделай одно из чисел дробным: `7.0 / 2` даёт 3.5. Больше 32 767 в `int` не положишь.

7.2. Условия, циклы, функции, строки

НА ПАЛЬЦАХ



Рисунок 7.2 – Условие – развилка, цикл – круги по лыжне

`if` выбирает одну дорогу из двух. `for` гоняет по кругу, пока не наберётся нужное число кругов.

Условие: «если... иначе...»

```
if (temp > 30) {  
    digitalWrite(FAN, HIGH);    // жарко – включаем вентилятор  
} else {  
    digitalWrite(FAN, LOW);     // иначе – выключаем  
}
```

В круглых скобках – вопрос, на который можно ответить «да» или «нет». Если «да», выполняется блок в первых фигурных скобках, если «нет» – блок после `else`. Знаки сравнения: `>` `<` `>=` (больше или равно) `<=` `=` (равно) `!=` (не равно). Два условия сразу соединяют так: `&&` – «и» (нужны оба), `||` – «или» (хватит одного).

С условиями ты сталкиваешься каждую зиму. Помнишь активированные дни? «Если мороз сильнее порога – уроки отменяют, иначе идём в школу» – это готовый `if` с `else`.

Если вариантов больше двух, пишут цепочку `if ... else if ... else`. Компьютер проверяет условия по очереди и выполняет **только первый** подходящий блок, остальные пропускает. Запомни это свойство – в задаче 7.4 оно решит всё.

Цикл `for`: «повтори N раз»

```
int sum = 0;  
for (int i = 1; i <= 5; i++) {  
    sum = sum + i;  
}  
Serial.println(sum);    // 15
```

Учитель физкультуры говорит: «Пять кругов по лыжне». Ты бежишь и считаешь круги, а на пятом останавливаешься. `for` делает то же самое. В скобках у него три части через `;`. Первая `int i = 1` выполняется один раз – заводим счётчик. Вторая `i ≤ 5` – условие: пока оно верно, цикл крутится. Третья `i++` (то же, что `i = i + 1`) выполняется после каждого круга. Счётчик проходит 1, 2, 3, 4, 5, и сумма растёт: 1, 3, 6, 10, 15.

Цикл `while`: «повторяй, пока...»

```
int n = 1;
while (n < 100) {
    n = n * 3;
}
Serial.println(n);           // 243
```

`while` удобен, когда заранее неизвестно, сколько будет кругов. Здесь `n` становится 3, 9, 27, 81, 243 – и на 243 условие `n < 100` впервые ложно, цикл останавливается. Проверь себя: почему напечаталось 243, а не 81? Потому что проверка стоит в начале круга. На 81 условие ещё верно, и цикл делает ещё одно умножение.

Функции: свои команды

Функция – кусок программы с именем, который можно вызывать много раз. Сначала её **определяют**: пишут тип результата, имя, в скобках – **параметры** (входные данные), в фигурных скобках – тело.

```
int square(int x) {           // получает целое x, возвращает целое
    return x * x;             // return – «отдай результат»
}

void blink(int pin, int ms) { // void – «ничего не возвращает»
    digitalWrite(pin, HIGH);
    delay(ms);
    digitalWrite(pin, LOW);
    delay(ms);
}
```

Потом функцию **вызывают**: `square(7)` даёт 49, `blink(13, 200)` один раз мигнёт светодиодом на ножке 13. Правило для задач отбора: функция должна стоять в тексте программы **выше** того места, где её вызывают. Arduino IDE иногда прощает нарушение этого правила, а обычный компилятор C++ – нет: он выдаст ошибку `was not declared in this scope` («не объявлено»).

Строки: перебираем по одной букве

Строка `String s = "S0S-2";` – это цепочка символов, у каждого свой номер. Нумерация начинается **с нуля**: `s[0]` – это 'S', `s[1]` – '0', `s[4]` – '2'. Длину даёт `s.length()`, здесь 5. Последний символ имеет номер 4 – на единицу меньше длины.

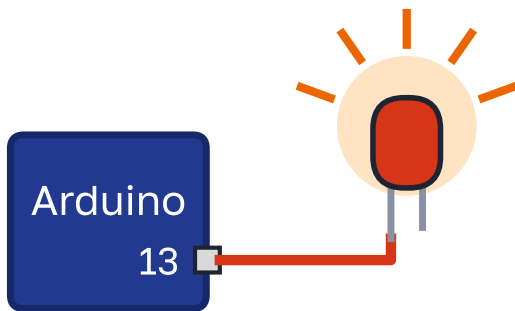
```
String s = "SOS-2";
int count = 0;
for (int i = 0; i < s.length(); i++) { // i = 0, 1, 2, 3, 4
    if (s[i] == 'S') { // символ - в одинарных кавычках
        count = count + 1;
    }
}
Serial.println(count); // 2
```

Запомни. В цепочке `if ... else if` срабатывает одна ветка – первая, где условие верно. `for (int i = 0; i < n; i++)` делает ровно `n` кругов, а последний раз счётчик равен `n - 1`. У `while` проверка стоит в начале круга – поэтому в примере вышло 243, а не 81. Функцию пишут выше вызова, а номер последнего символа строки на единицу меньше длины.

7.3. Arduino: скетч, ножки, время

НА ПАЛЬЦАХ

`digitalWrite(13, HIGH)`



5 В – горит

`digitalWrite(13, LOW)`



0 В – темно

Рисунок 7.3 – Ножка Arduino – выключатель, которым щёлкает программа

HIGH – на ножке 5 вольт, светодиод горит. **LOW** – 0 вольт, темно.

Arduino – маленькая плата с **микроконтроллером**: это крошечный компьютер в одной микросхеме, без экрана и клавиатуры. У платы есть металлические **ножки** (их ещё называют пинами или выводами) с номерами. К ножкам подключают светодиоды, кнопки, датчики, моторы. Программа для Arduino называется **скетч**. Пишут её в программе Arduino IDE или прямо в браузере, в симуляторе **Wokwi** (wokwi.com) – там плату и светодиоды можно «собрать» на экране, и ничего покупать не нужно.

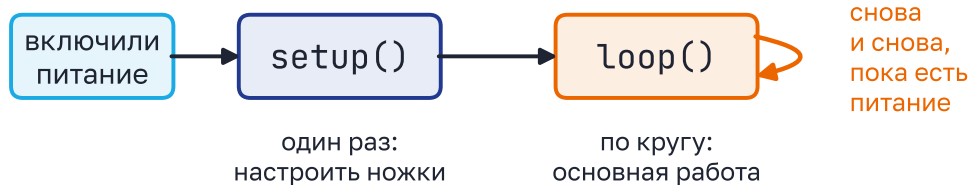


Рисунок 7.4 – Как выполняется скетч: сначала один раз `setup()`, потом `loop()` снова и снова

В каждом скетче есть две обязательные функции. `setup()` выполняется один раз после включения питания – в ней настраивают ножки. `loop()` («петля») выполняется потом по кругу: дошли до конца – начинаем с начала, и так пока плата не обесточена. Так работает дворник в снегопад: дочистил дорожку до конца – возвращается к началу. Вот самый первый скетч, который пишет каждый, – мигание светодиодом. Он есть в Arduino IDE готовым примером: «Файл → Примеры → 01.Basics → Blink».

```

void setup() {
  pinMode(13, OUTPUT);    // ножка 13 – выход
}

void loop() {
  digitalWrite(13, HIGH); // включить светодиод
  delay(1000);            // ждать 1000 мс = 1 с
  digitalWrite(13, LOW);  // выключить
  delay(1000);            // ждать ещё 1 с
}
  
```

Разберём по строчке:

- `pinMode(13, OUTPUT)` – «ножка 13 будет **выходом**»: плата сама подаёт на неё напряжение. Для кнопки или датчика ножку делают **входом**: `INPUT` или `INPUT_PULLUP` (чем они отличаются – сразу под списком).
- `digitalWrite(13, HIGH)` – подать на ножку 13 «высокий уровень», 5 В: светодиод загорится. `LOW` – 0 В, гаснет. К ножке 13 на плате Arduino Uno уже подключён маленький светодиод, так что этот скетч работает даже без проводов.
- `delay(1000)` – ничего не делать 1000 **миллисекунд**. В одной секунде 1000 мс.

Кнопка и `INPUT_PULLUP`. Если ножка – вход, а к ней ничего не подключено, она «плавает»: ловит наводки, как антенна, и `digitalRead` выдаёт то 0, то 1 как попало. Вход надо подтянуть к 5 В: либо внешним резистором (например, 10 кОм), либо проще – включить встроенный: `pinMode(3, INPUT_PULLUP);`. Второй вывод кнопки соединяют с GND. Пока кнопка отпущена, на ножке 1 (`HIGH`); нажали – ножка замкнулась на землю, и `digitalRead(3)` даёт 0 (`LOW`). Получается наоборот, чем кажется: **нажата = `LOW`**, и условие пишут так: `if (digitalRead(3) == LOW) { ... }`. У кнопки в Wokwi четыре вывода, попарно соединённых внутри: берёшь по одному с каждой стороны.

Если убрать второй `delay`, светодиод будет гаснуть на миллионные доли секунды и тут же загораться снова – глаз этого не увидит, и покажется, что он просто горит.

На отборе встречаются и такие команды:

- `analogRead(A0)` – измерить напряжение на аналоговом входе A0. Результат – целое число от 0 (0 В) до 1023 (5 В). Примерно так: значение $\approx U / 5 \text{ В} \cdot 1023$. Середина шкалы – около 512 (это 2,5 В). Подробно про напряжение – в главе 6.
- `Serial.begin(9600)` – в `setup()` открыть связь с компьютером по кабелю (9600 – скорость обмена). После этого `Serial.print(x)` печатает `x`, а `Serial.println(x)` печатает и переходит на новую строку. Текст видно в окне «Монитор порта» Arduino IDE или под схемой в Wokwi.
- `millis()` – сколько миллисекунд прошло с момента включения платы. Это «часы» контроллера. Они пригодятся в разделе 7.6, когда нужно ждать и одновременно следить за кнопкой.
- `digitalRead(pin)` – прочитать, есть ли напряжение на ножке-входе: получится `HIGH` или `LOW`.

Совет. Любой скетч из этой главы можно проверить в Wokwi: на wokwi.com создай проект с платой Arduino Uno, вставь код и нажми зелёную кнопку запуска. Вставь в программу `Serial.println(...)` там, где сомневаешься, – и увидишь, что лежит в переменной на самом деле. Так программисты и ищут ошибки.

Запомни. Настройка ножек – в `setup()`, работа – в `loop()`. Все времена у Arduino в миллисекундах: `delay(1000)` – одна секунда, `millis()` считает от включения. `analogRead` отвечает числом от 0 до 1023, а `digitalRead` – только `HIGH` или `LOW`.

7.4. Двоичная система: как спутник передаёт числа

НА ПАЛЬЦАХ

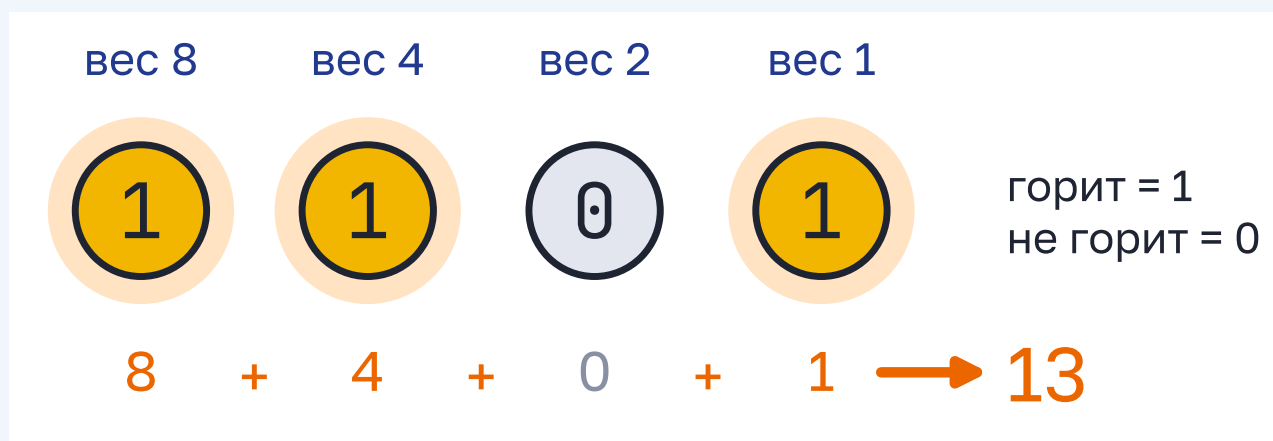


Рисунок 7.5 – Двоичное число – ряд лампочек с весами

Каждая лампочка «весит» вдвое больше соседки справа. Сложи веса горящих – получишь число.

Мы считаем в **десятичной** системе: цифр десять, от 0 до 9, и каждый разряд в 10 раз «тяжелее» соседа справа: $305 = 3 \cdot 100 + 0 \cdot 10 + 5 \cdot 1$. Электронике удобнее всего два состояния:

есть напряжение – нет напряжения, светит лазер – не светит. Как выключатель в твоей комнате: положения «чуть-чуть включён» у него нет. Поэтому числа внутри контроллера и в радиосвязи записывают в **двоичной** системе: цифр всего две, 0 и 1. Одна такая цифра называется **бит**. Разряды весят 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128... – каждый следующий вдвое больше.

Из двоичной в десятичную. Подпиши над каждым битом его вес, начиная справа с 1, и сложи веса там, где стоят единицы. 1101_2 : веса справа налево 1, 2, 4, 8. Единицы стоят на весах 1, 4 и 8: $8 + 4 + 1 = 13$.

Из десятичной в двоичную. Дели число на 2 и записывай остатки, пока не получишь 0. Остатки, прочитанные **снизу вверх**, и есть двоичная запись.

Делим 13 на 2, пока не получим 0



число	двоичная запись	передача: младший бит первым
0	0	0
1	1	1
6	110	0 1 1
13	1101	1 0 1 1
44	101100	0 0 1 1 0 1

Рисунок 7.6 – Перевод 13 в двоичную систему делением на 2 и порядок передачи «младшим битом вперёд»

Самый правый бит (вес 1) называется **младшим**, самый левый – **старшим**. Посмотри на рисунок: первый остаток, который мы получили, – это как раз младший бит. Значит, если передавать остатки **в том порядке, в каком они получаются**, мы передадим число **младшим битом вперёд**. А это готовый алгоритм для программы:

- младший бит числа – это `num % 2` (остаток от деления на 2: у чётного 0, у нечётного 1);
- `num / 2` (деление нацело) «отрезает» младший бит: $13 / 2 = 6$, и $6 = 110_2$ – это 1101_2 без последней единицы;
- повторяем, пока `num` не станет 0.

Нулевые старшие биты не передают: число 6 – это `110`, а не `00000110`. Но у самого нуля передают один бит `0`, иначе приёмник вообще ничего не получит.

Совет. Проверить себя можно в Python: `print(bin(13))` выводит `0b1101` (приставка `0b` значит «двоичное»), а `print(int("1101", 2))` выводит 13.

Запомни. Веса разрядов справа налево: 1, 2, 4, 8, 16, 32... Самый первый остаток от деления на 2 – это младший бит. Перевёл число – переведи обратно и сравни: перепутанный порядок битов сразу вылезет.

7.5. Python: ввод, вывод, списки и картинка из чисел

НА ПАЛЬЦАХ

На каждой перемене:

поесть
размяться

После уроков – домой

в тетради

```
for t in temps:
```

```
    total = total + t
    4 пробела
print(total)
```

в Python

Рисунок 7.7 – Отступ в Python – как подпункт в списке дел

Что сдвинуто вправо, то делается внутри пункта выше. Вернулся к краю – пункт кончился.

Python – другой язык программирования. На отборе прошлых лет задачу «напиши программу» можно было решать на любом языке из списка (а задачи для Arduino – только на C++). Python для новичка проще: не нужно объявлять типы, нет точек с запятой. Зато в Python **важны отступы**: то, что входит в цикл или условие, сдвигают вправо на 4 пробела. Двоеточие в конце строки значит «дальше – вложенный блок».

```
name = input()          # ждём строку с клавиатуры
n = int(input())         # ждём строку и превращаем её в целое число
print("Привет,", name)
print(n * 2)
```

Если ввести `Луна` и `21`, программа напечатает `Привет, Луна` и `42`. Здесь есть подвох: `input()` всегда отдаёт **строку**. Без `int(...)` строка `"21"`, умноженная на 2, превратится в `"2121"`. Если два числа приходят в одной строке через пробел, пишут `a, b = input().split()` и потом `int(a)`, `int(b)`. `print(a, b)` печатает значения через пробел.

Деление в Python устроено иначе, чем в C++: `17 / 5` даёт `3.4`, а деление нацело – двойная черта: `17 // 5` даёт `3`. Остаток – тоже `17 % 5`, это `2`.

Список – много значений под одним именем, в квадратных скобках. Нумерация, как и у строк, с нуля.

```
temps = [21, 19, 25, 18]
print(temps[0])          # 21 – первый элемент
print(len(temps))        # 4 – сколько элементов
temps.append(30)         # дописать в конец
total = 0
for t in temps:          # t по очереди равно 21, 19, 25, 18, 30
    total = total + t
print(total)             # 113
```

`for i in range(n)` перебирает числа 0, 1, 2, ..., $n - 1$ – как `for (int i = 0; i < n; i++)` в C++. Цикл `while` в Python такой же, как в C++, только без скобок: `while n < 100:`.

Картинка – это таблица чисел

НА ПАЛЬЦАХ

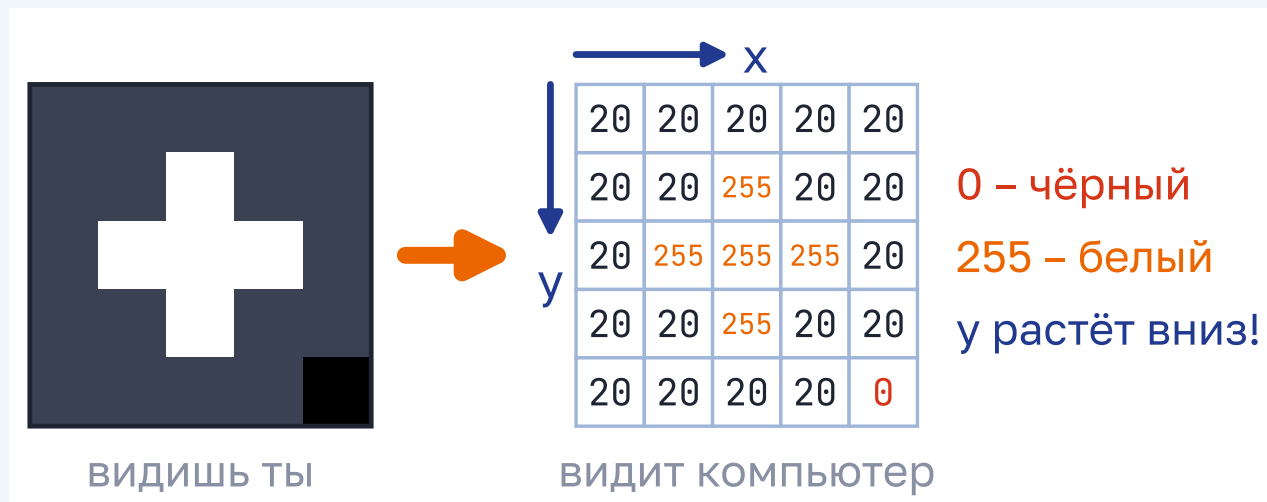


Рисунок 7.8 – Картинка для компьютера – тетрадь в клетку с числами

В каждой клетке записана яркость: 0 – чёрный, 255 – белый. Номер строки y растёт вниз.

Снимок с камеры спутника для компьютера – таблица чисел. Каждая клеточка – **пиксель**, точка изображения. В чёрно-белом (говорят «в оттенках серого») снимке каждый пиксель – число от 0 до 255: 0 – совсем чёрный, 255 – совсем белый, между ними – серые. На летнем снимке Новосибирска из космоса Обское море – тёмное пятно с маленькими числами, а облака над ним – почти 255. У пикселя два номера: x – номер столбца (слева направо, с нуля) и y – номер строки (**сверху вниз**, с нуля). В задачах отбора обычно уже дана функция, которая по координатам возвращает яркость. Здесь мы назовём её `get(x, y)`, а ширину и высоту кадра – W и H .

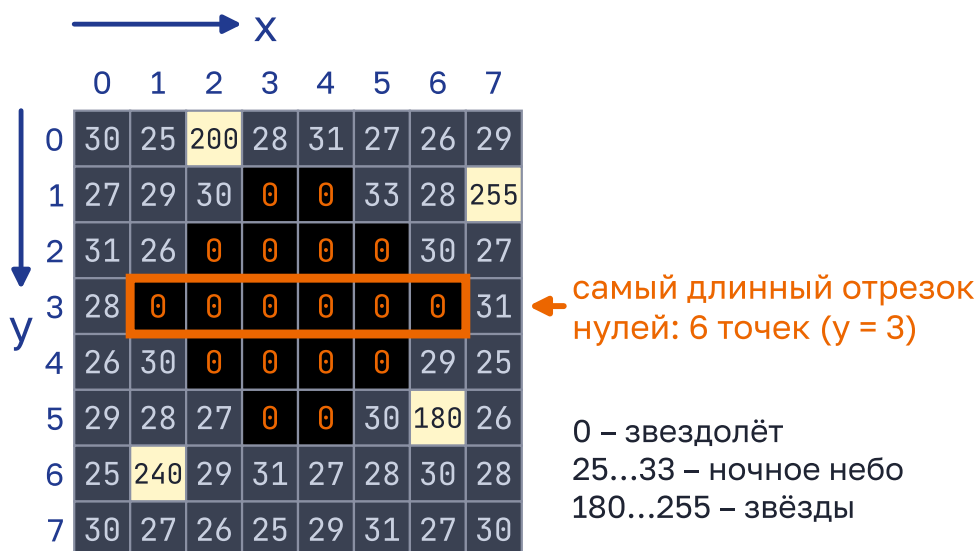


Рисунок 7.9 – Кадр 8 × 8 пикселей: звёздное небо, звёзды и чёрный звездолёт. В каждой клетке – её яркость

Чтобы обойти все пиксели, нужен **цикл в цикле**: внешний перебирает строки, внутренний – точки в строке. Например, посчитаем яркие звёзды (ярче 150) на кадре с рисунка:

```
count = 0
for y in range(H):           # строки сверху вниз
    for x in range(W):       # точки слева направо
        if get(x, y) > 150:
            count = count + 1
print(count)                 # 4
```

Внутренняя строка выполнится $8 \cdot 8 = 64$ раза – для каждого пикселя по разу.

Запомни. Сдвинул строку на 4 пробела – она попала внутрь цикла или условия. Число с клавиатуры – только через `int(input())`. Нацело в Python делит `//`, одна черта даёт дробь. Кадр обходят двумя циклами: снаружи `y`, внутри `x`.

7.6. Машина состояний: светофор

НА ПАЛЬЦАХ

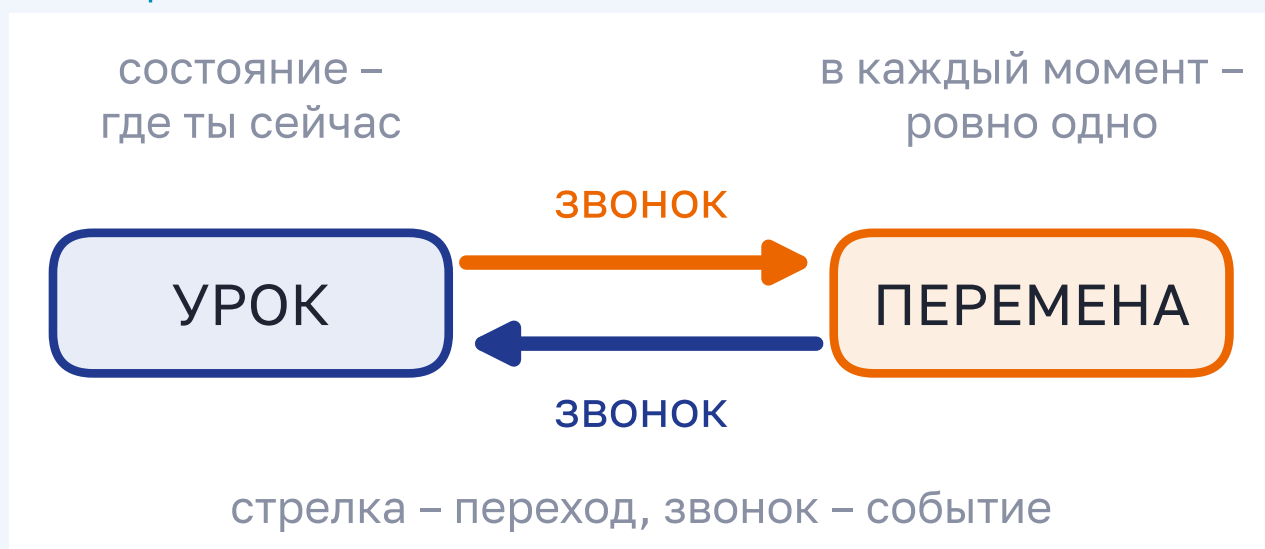


Рисунок 7.10 – Школьный день – тоже машина состояний

Ты сейчас либо на уроке, либо на перемене – одновременно нельзя. Переключает ЗВОНОК.

Светофор можно запрограммировать «в лоб»: включить красный, `delay(10000)`, включить жёлтый, `delay(2000)` и так далее. Работать будет. Но пока идёт `delay`, контроллер **спит** и больше ничего не делает. Нажмёт пешеход кнопку – никто не заметит. Это как поставить вариться пельмени и десять минут стоять над кастрюлей, не отводя глаз: позвонят в дверь – не услышишь. Нормальный человек поглядывает на часы и между делом успевает другое. А бортовой компьютер спутника одновременно следит за батареей, радио и датчиками, спать ему нельзя.

Инженеры поступают иначе: описывают устройство как **машину состояний**. В каждый момент устройство находится в одном **состоянии** – например, «горит красный». Потом что-то случается: прошло 10 секунд, нажата кнопка, пришёл сигнал, – это **событие**. А **переход** – правило «в таком-то состоянии при таком-то событии перейти в такое-то состояние».

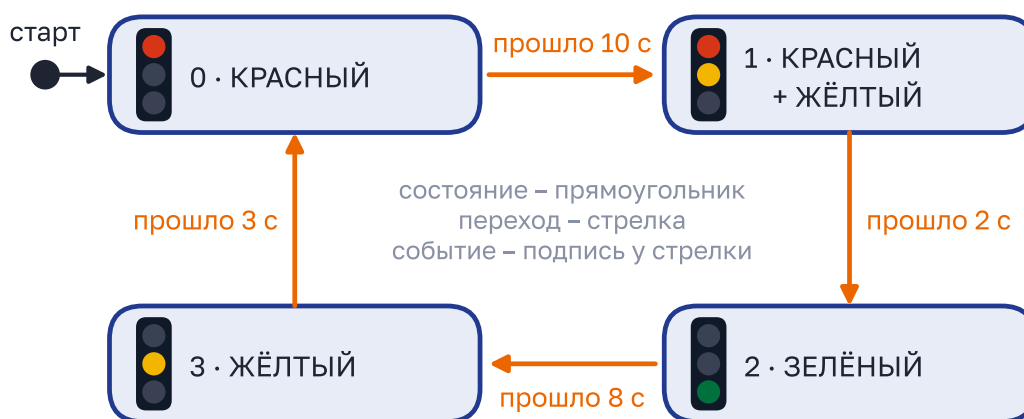


Рисунок 7.11 – Машина состояний светофора: четыре состояния, переходы по таймеру

В программе состояние хранят в обычной переменной-числе: 0 – красный, 1 – красный с жёлтым, 2 – зелёный, 3 – жёлтый. Ещё одна переменная помнит момент, когда мы вошли в текущее состояние. Функция `loop()` крутится тысячи раз в секунду и каждый раз задаёт один вопрос: «не пора ли переходить?»

```
const int RED = 12;
const int YELLOW = 11;
const int GREEN = 10;

int state = 0;           // 0 - красный, 1 - красный+жёлтый, 2 - зелёный, 3 - жёлтый
unsigned long start = 0; // момент входа в текущее состояние, мс

void lights(int r, int y, int g) {
  digitalWrite(RED, r);
  digitalWrite(YELLOW, y);
  digitalWrite(GREEN, g);
}

void go(int newState) { // переход: запомнить состояние, время и зажечь нужные лампы
  state = newState;
  start = millis();
  if (state == 0) lights(HIGH, LOW, LOW);
  if (state == 1) lights(HIGH, HIGH, LOW);
  if (state == 2) lights(LOW, LOW, HIGH);
  if (state == 3) lights(LOW, HIGH, LOW);
}

void setup() {
  pinMode(RED, OUTPUT);
  pinMode(YELLOW, OUTPUT);
  pinMode(GREEN, OUTPUT);
  go(0); // начинаем с красного
}

void loop() {
  unsigned long t = millis() - start; // сколько мс длится текущее состояние
  if (state == 0 && t ≥ 10000) go(1);
  else if (state == 1 && t ≥ 2000) go(2);
  else if (state == 2 && t ≥ 8000) go(3);
  else if (state == 3 && t ≥ 3000) go(0);
}
```

Новое тут немногое. `const int RED = 12;` – **константа**: коробочка, содержимое которой менять нельзя. Имена ножек удобнее цифр – легко прочитать, и если перепаяешь светодиод, поправишь одну строку. `unsigned long` – целое без знака для очень больших чисел: `millis()` перерастает 32 767 уже через 33 секунды. Если после `if (...)` стоит всего одна команда, фигурные скобки можно не писать. Каждая строка `loop()` читается прямо по рисунку: «если горит красный и прошло 10 000 мс – переходим в состояние 1».

Мы прогнали этот скетч на компьютере с заглушкой Arduino. Он переключает сигналы в моменты 10 с (красный + жёлтый), 12 с (зелёный), 20 с (жёлтый), 23 с (снова красный), и дальше всё повторяется: полный круг длится $10 + 2 + 8 + 3 = 23$ с. Пока светофор ждёт, `loop()` свободна: в неё можно дописать проверку кнопки пешехода – ещё одно событие и ещё один переход.

В курсе сферы машины состояний рисуют в среде **Cyberiada IDE** на визуальном языке **ПРИМС** (расширенные иерархические машины состояний) – а по рисунку получается код на C++. Логика та же, что в нашем коде: состояния, события, переходы. Программа курса отдельно требует, чтобы в машине не было **тупиков** – состояний, из которых нет ни одного выхода. Попал в тупик – устройство «зависло».

Запомни. Вместо `delay` – вопрос «сколько я уже в этом состоянии?»: `millis() - start`. Номер состояния живёт в одной переменной, а переходы проверяет цепочка `if ... else if` в `loop()`. Нарисовал схему – убедись, что из каждого прямоугольника выходит хотя бы одна стрелка.

7.7. Четыре вида задач с кодом

«Расставь строки». Строки короткой программы перемешаны, нужно вернуть порядок. Ищи зацепки: переменную объявляют раньше, чем используют; функцию определяют выше, чем вызывают; в `setup()` – настройка ножек, в `loop()` – работа; открывающей скобке `{` нужна закрывающая `}`. Если две строки можно поменять местами без вреда, условие обычно подсказывает порядок («сначала ножку А, потом В»). Отступы «лесенкой» тоже расставляй – по ним видно, какая строка внутри какой скобки.

«Что выведет программа». Не угадывай – **проследи**. Нарисуй табличку: столбец на каждую переменную, строка на каждый шаг. Выполняй программу пальцем, строку за строкой, и записывай новые значения. Такая таблица называется трассировкой, и ошибиться с ней почти невозможно.

«Найди ошибку». Самые частые ошибки: `=` вместо `==`; `≤` вместо `<` (цикл делает на один круг больше); `"."` (строка) вместо `'.'` (символ); забытый случай «число равно нулю»; условие, которое никогда не выполнится, или два условия, которые выполняются оба. Подставь в программу несколько значений – обязательно граничные: 0, самое большое, ровно на границе.

«Напиши функцию». Проверяющая система сама вызовет твою функцию с разными данными и проверит, что она сделала. Готовые функции (например, `send_one()`) уже где-то написаны, ты их только вызываешь. Лишнего не добавляй: если сказано «вводить и выводить ничего не надо», не пиши `Serial.println`. Прежде чем отправлять ответ, прогони функцию на примерах из условия и на граничных случаях у себя – в Wokwi или онлайн-компиляторе.

Совет. Попытки на отборе ограничены, а песочница бесконечна. Любую программу сначала запусти у себя на примере из условия, потом на двух-трёх своих примерах, среди которых есть «крайние» (ноль, пустая строка, максимум). И только потом отправляй.

7.8. Разбираем задачи

Задача 7.1 Бортовые огни

разминка · Arduino, digitalWrite, delay, встречное включение светодиодов, расставь строки

На корпусе спутника два сигнальных огня – красный и зелёный. Они подключены к ножкам D2 и D3 **встречно**: оба светодиода стоят между одними и теми же точками, но смотрят в разные стороны (см. рисунок). Огни должны мигать попеременно, без тёмных промежутков: красный горит 700 мс, потом зелёный 300 мс, и снова. Ножки уже настроены в `setup()`. Строки функции `loop()` перемешались – расставь их. Правило: в каждой паре `digitalWrite` сначала пиши команду для `PIN_A`, потом для `PIN_B`. Ответ – последовательность букв.

```
const int PIN_A = 2;
const int PIN_B = 3;

void setup() {
  pinMode(PIN_A, OUTPUT);
  pinMode(PIN_B, OUTPUT);
}

void loop() {
  // сюда - шесть строк:
  // А digitalWrite(PIN_B, HIGH);
  // Б delay(300);
  // В digitalWrite(PIN_A, HIGH);
  // Г digitalWrite(PIN_A, LOW);
  // Д delay(700);
  // Е digitalWrite(PIN_B, LOW);
}
```

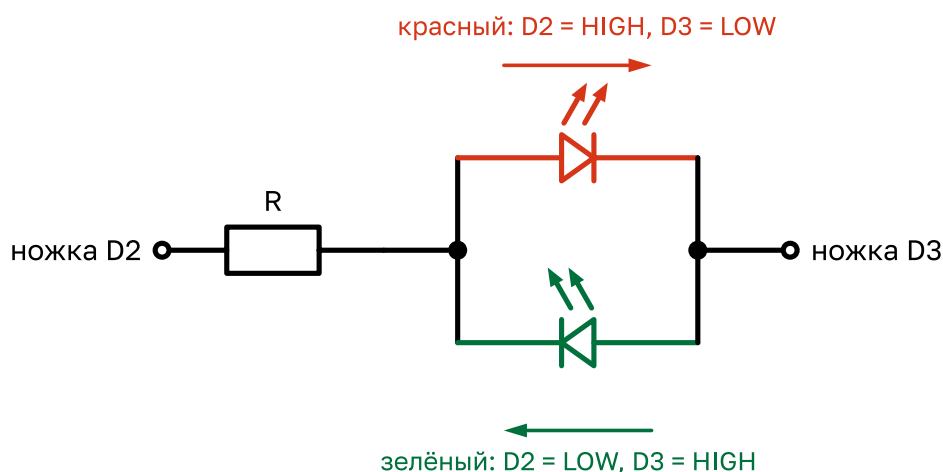


Рисунок 7.12 – Встречное включение: красный светодиод пропускает ток только от D2 к D3, зелёный – только от D3 к D2

Дано: красный горит при `D2 = HIGH, D3 = LOW`, 700 мс; зелёный – при `D2 = LOW, D3 = HIGH`, 300 мс; команды `digitalWrite` и `delay`.

Найти: порядок строк А–Е.

Решение

Шаг 1. Как работает схема. Светодиод пропускает ток только в одну сторону – от длинной ножки (анода) к короткой (катоде); резистор R ограничивает ток, чтобы светодиод не сгорел. Подробно об этом – в главе 6. Ток течёт туда, где напряжение ниже. Если на D2 5 В, а на D3 0 В, ток идёт от D2 к D3: так «повёрнут» красный, он и загорается. Зелёный повёрнут наоборот и ток в эту сторону не пускает. Если D2 = 0 В, D3 = 5 В – всё наоборот, горит зелёный. Если на обеих ножках одно и то же (обе HIGH или обе LOW), ток не течёт вообще, и темно.

Шаг 2. Красный. Нужно D2 = HIGH, D3 = LOW. По правилу сначала PIN_A: строка В `digitalWrite(PIN_A, HIGH)`, потом Е `digitalWrite(PIN_B, LOW)`. Держим 700 мс: строка Д.

Шаг 3. Зелёный. Нужно D2 = LOW, D3 = HIGH: строка Г `digitalWrite(PIN_A, LOW)`, потом А `digitalWrite(PIN_B, HIGH)`. Держим 300 мс: строка Б.

Шаг 4. Почему нет тёмных промежутков. Между строками Г и А (и между Б и следующим кругом) проходят миллионные доли секунды – глаз их не видит. Паузы `delay` стоят только там, где огонь должен гореть.

Проверка. Мы запустили скетч с заглушкой Arduino. Лог первых двух кругов:

t=0 мс	D2=HIGH	D3=LOW	- красный
t=700 мс	D2=LOW	D3=HIGH	- зелёный
t=1000 мс	D2=HIGH	D3=LOW	- красный
t=1700 мс	D2=LOW	D3=HIGH	- зелёный

Круг длится 700 + 300 = 1000 мс, то есть одну секунду, как и задумано.

❗ **Самая коварная ошибка** – поставить `delay` между двумя `digitalWrite` одной пары: `digitalWrite(PIN_A, LOW); delay(300); digitalWrite(PIN_B, HIGH);`. На время паузы обе ножки окажутся в LOW – появится тёмный промежуток. А ещё легко перепутать, какой огонь горит при D2 = HIGH: смотри, куда повёрнут треугольник светодиода на схеме.

Ответ: В, Е, Д, Г, А, Б.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Бортовые огни спутника (BLINK со встречным подключением светодиодов)»

Реши сам

7.1. Огни из задачи 7.1 должны мигать без тёмных промежутков, но в скетче между огнями видна темнота. Какую строку нужно удалить? Назови её номер из комментария.

```
void loop() {
  digitalWrite(2, HIGH);    // 1
  digitalWrite(3, LOW);    // 2
  delay(400);              // 3
  digitalWrite(2, LOW);    // 4
  delay(400);              // 5
  digitalWrite(3, HIGH);   // 6
  delay(400);              // 7
}
```

7.2. Сколько раз загорится светодиод за первые 9 с работы скетча Blink из раздела 7.3 (1 с горит, 1 с не горит)? Считай и самое первое включение в момент 0.

7.3.* Строки программы передатчика перемешались. Четыре функции даны целиком, каждая – одним блоком:

```
// А
void beep(int d) {
    for (int i = 0; i < 10; i++) {
        one_pulse(d);
    }
}

// Б
void send_one() {
    beep(3);
}

// В
void one_pulse(int d) {
    digitalWrite(LASER, HIGH);
    delay(d);
    digitalWrite(LASER, LOW);
    delay(d);
}

// Г
void send_zero() {
    beep(1);
}
```

а) Расставь блоки так, чтобы каждая функция была определена выше места вызова (если порядок двух блоков не важен, ставь `send_zero` раньше `send_one`). б) Сколько миллисекунд длится передача одной единицы `send_one()` ?

Задача 7.2 Морзянка по лазерному лучу

C++, строки, посимвольный перебор, условия, напиши функцию

Спутник передаёт сообщения лазером кодом, похожим на азбуку Морзе. Уже написаны функции `send_dot()` (передать точку) и `send_dash()` (передать тире) и задана константа `SPACE_DURATION` – длина паузы в миллисекундах. Напиши функцию `send_message(String s)`. Она просматривает строку `s` по одному символу: на каждую точку `.` вызывает `send_dot()`, на каждое тире `-` – `send_dash()`, на каждый пробел делает паузу `delay(SPACE_DURATION)`. Все остальные символы пропускает. Вводить и выводить ничего не нужно.

Дано: строка `s`; готовые `send_dot()`, `send_dash()`, `delay()`, `SPACE_DURATION`.

Найти: функцию `send_message(String s)`.

Решение

Шаг 1. План словами. «Для каждого символа строки: если точка – точка; иначе если тире – тире; иначе если пробел – пауза; иначе ничего». Это цикл по номерам символов и внутри –

цепочка `if ... else if`.

Шаг 2. Цикл. Номера символов – от 0 до `s.length() - 1`. Пишем `for (int i = 0; i < s.length(); i++)`. Символ с номером `i` – это `s[i]`, кладём его в переменную типа `char`.

Шаг 3. Условия. Символ сравниваем с символом – в **одинарных** кавычках: `c == '.'`. Для «всех остальных» символов ветку `else` просто не пишем – тогда ничего и не произойдёт.

```
void send_message(String s) {
    for (int i = 0; i < s.length(); i++) {
        char c = s[i];
        if (c == '.') {
            send_dot();
        } else if (c == '-') {
            send_dash();
        } else if (c == ' ') {
            delay(SPACE_DURATION);
        }
    }
}
```

Шаг 4. Проверка. Мы подставили «учебные» `send_dot()` и `send_dash()`, которые печатают слова, и прогнали функцию:

```
"..- x -."    → точка точка тире тире точка, пауз: 2
"... --- ..." → точка точка точка тире тире тире точка точка точка, пауз: 2
""            → ничего, пауз: 0
"a.b-c"       → точка тире, пауз: 0
```

В первой строке буква `x` пропущена, а оба пробела вокруг неё дали паузы. Пустая строка не сломала программу: `s.length()` равно 0, и цикл не сделал ни одного круга.

❗ Чаще всего спотыкаются о кавычки: пишут `c == "`. Двойные кавычки – это строка, а не символ, и компилятор ответит ошибкой `comparison between pointer and integer`. Вторая ошибка – `i ≤ s.length()`: цикл заходит на номер, которого в строке нет. Третья – написать в конце просто `else { delay(SPACE_DURATION); }`: тогда пауза получится на любой лишний символ, и буква `x` из примера даст третью паузу.

Ответ: функция из шага 3.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Инопланетный разговорник»

Реши сам

7.4. Функции `send_message` из задачи 7.2 передали строку `"..- x .. -"`. Сколько раз будет вызвана каждая из функций `send_dot()`, `send_dash()` и `delay()`?

7.5. В функции `send_message` из задачи 7.2 последнюю ветку `else if (c == ' ')` заменили на просто `else`. Функции передали строку `"-..-a b.-"`. Сколько раз вызовется `delay()` в верной функции и сколько – в изменённой?

7.6. Что выведет скетч? Запиши три числа по порядку.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  int a = 23;
  int b = 4;
  Serial.println(a / b);
  Serial.println(a % b);
  int s = 0;
  for (int i = 2; i <= 8; i = i + 2) {
    s = s + i;
  }
  Serial.println(s);
}

void loop() {
}
```

Задача 7.3 Передаём число двоичным кодом

двоичная система, младший бит, $num \% 2$, цикл `while`, напиши функцию

Есть готовые функции `send_zero()` и `send_one()` – они передают лазером один бит 0 или 1. Напиши функцию `send_number(int num)`, которая передаёт целое число `num` (от 0 до 1000) в двоичном коде, **начиная с младшего бита**. Нулевые старшие биты не передавай. Если `num` равно 0, передай один бит 0. Пример: число $6 = 110_2$ передаётся как `send_zero(); send_one(); send_one();`.

Дано: `num` от 0 до 1000; готовые `send_zero()`, `send_one()`.

Найти: функцию `send_number(int num)`.

Решение

Шаг 1. Идея из раздела 7.4. Младший бит – это $num \% 2$. Передали его – «отрезаем»: `num = num / 2`. Повторяем, пока число не кончится, то есть пока `num > 0`. Остатки при этом выходят как раз в нужном порядке – младший первым.

Шаг 2. Проверим идею на 6 вручную. $6 \% 2 = 0 \rightarrow \text{send_zero}()$, `num = 3`. $3 \% 2 = 1 \rightarrow \text{send_one}()$, `num = 1`. $1 \% 2 = 1 \rightarrow \text{send_one}()$, `num = 0` – стоп. Вышло 0, 1, 1 – как в примере.

Шаг 3. Ноль. Если `num` сразу 0, условие `num > 0` ложно, цикл не сделает ни круга – и ничего не передастся. Этот случай обрабатываем отдельно, в самом начале: передаём 0 и выходим из функции командой `return`.

```

void send_number(int num) {
    if (num == 0) {
        send_zero();
        return;           // ВЫЙТИ ИЗ ФУНКЦИИ
    }
    while (num > 0) {
        if (num % 2 == 1) {
            send_one();
        } else {
            send_zero();
        }
        num = num / 2;
    }
}

```

Шаг 4. Проверка. Тот же приём, что в задаче 7.2: пусть учебные `send_zero()` и `send_one()` просто печатают 0 и 1.

```

6    → 011
0    → 0
1    → 1
13   → 1011
44   → 001101
1000 → 0001011111

```

Проверим 1000 обратно: биты младшим вперёд 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1, 1, 1 стоят на весах 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512. Единицы – на весах 8, 32, 64, 128, 256, 512:
 $8 + 32 + 64 + 128 + 256 + 512 = 1000$. Сошлось. Длину тоже можно было прикинуть заранее: $2^{10} = 1024$ чуть больше 1000, значит, битов будет 10 – их 10.

⚠ Типичная ошибка. Перевести число в двоичную запись «как на бумаге» (1101 для 13) и передать её слева направо – это порядок «старшим вперёд», а нужен обратный: 1, 0, 1, 1. И не забудь про ноль: функция без первого `if` на входе 0 молчит, а тест ждёт один бит 0.

Ответ: функция из шага 3; для 13 передаётся 1, 0, 1, 1.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Кодируем числа»

Реши сам

7.7. Функция `send_number` из задачи 7.3 передаёт число 19. Запиши биты в том порядке, в каком их передаст лазер.

7.8. Запиши число 37 в двоичной системе.

7.9. Приёмник получил число 101110_2 (записано обычным порядком, старший бит слева). Чему оно равно в десятичной системе?

7.10.* Приёмник записал биты в том порядке, в каком они пришли, – младшим битом вперёд: 0 1 0 1 1 1. Какое число передали?

Задача 7.4 Джойстик с мёртвой зоной

analogRead, мёртвая зона, if – else if – else, digitalWrite, напиши функцию

Стажёр в центре управления стыкует корабль джойстиком. Ручка джойстика вращает **потенциометр** – регулятор, напряжение с которого идёт на аналоговый вход. `analogRead` даёт от 0 до 1023, отпущенной ручке соответствует около 512. Два маленьких двигателя ориентации толкают корабль вперёд и назад; каждый включается сигналом HIGH на своей ножке. Напиши функцию `control_one_axis(int inpPin, int fwdPin, int bckPin)`. Она читает джойстик с ножки `inpPin`. Если значение больше середины **более чем на** `DEAD_ZONE = 50`, включить `fwdPin` («вперёд»). Если меньше середины более чем на 50 – включить `bckPin` («назад»). Иначе выключить оба: от случайного дрожания руки двигатели срабатывать не должны. Два двигателя сразу не включать никогда. Константы `NEUTRAL = 512` и `DEAD_ZONE = 50` уже объявлены, ножки настроены.

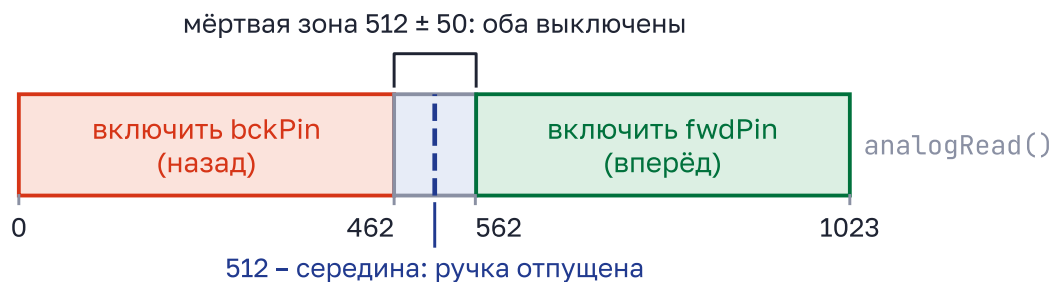


Рисунок 7.13 – Шкала `analogRead` и три зоны: назад, мёртвая зона, вперёд

Дано: `NEUTRAL = 512`; `DEAD_ZONE = 50`; `analogRead` даёт 0...1023; двигатель включается HIGH.
Найти: функцию `control_one_axis`.

Решение

Шаг 1. Границы зон. «Больше середины более чем на 50» значит $x - 512 > 50$, то есть $x > 562$. «Меньше более чем на 50»: $512 - x > 50$, то есть $x < 462$. Всё от 462 до 562 включительно – мёртвая зона. Сами числа в коде писать не будем – пусть программа считает `NEUTRAL + DEAD_ZONE`: поменяют константу – всё пересчитается само.

Шаг 2. Три случая – одна цепочка. Случаи исключают друг друга, поэтому пишем `if ... else if ... else`: выполнится ровно одна ветка.

Шаг 3. Не включать два сразу. Если ручку резко перекинули из «назад» во «вперёд», двигатель «назад» ещё работает. Поэтому в каждой ветке сначала **выключаем** ненужный двигатель, потом включаем нужный.

```

void control_one_axis(int inpPin, int fwdPin, int bckPin) {
    int x = analogRead(inpPin);
    if (x > NEUTRAL + DEAD_ZONE) {
        digitalWrite(bckPin, LOW);
        digitalWrite(fwdPin, HIGH);
    } else if (x < NEUTRAL - DEAD_ZONE) {
        digitalWrite(fwdPin, LOW);
        digitalWrite(bckPin, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(fwdPin, LOW);
        digitalWrite(bckPin, LOW);
    }
}

```

Шаг 4. Проверка на границах. Мы гоняли функцию на компьютере и подавали значения по обе стороны от каждой границы:

```

x = 0, 300, 461    → назад  (fwd = 0, bck = 1)
x = 462, 512, 562  → оба выключены
x = 563, 700, 1023 → вперёд (fwd = 1, bck = 0)

```

Посмотри на 562: оно отличается от 512 на 50, а не «более чем на 50», – двигатель молчит. На 563 корабль уже идёт вперёд.

 **Главная ловушка** – два отдельных `if` вместо цепочки:

```

if (x > NEUTRAL + DEAD_ZONE) { ... включить вперёд ... }
if (x < NEUTRAL - DEAD_ZONE) { ... включить назад ... }
else { ... выключить оба ... }

```

Здесь `else` относится только ко второму `if`. При $x = 700$ первый блок включает «вперёд», а через миллионную долю секунды `else` второго выключает его. Мы проверили: у такой функции «вперёд» не работает ни при одном значении. Ещё одна ошибка – $\geq$ вместо $>$: тогда на 562 двигатель включится, хотя по условию не должен.

Ответ: функция из шага 3: вперёд при $x > 562$, назад при $x < 462$, иначе оба выключены.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Управляем ручной стыковкой»

Реши сам

7.11. В функции джойстика из задачи 7.4 поменяли `DEAD_ZONE` на 80 (`NEUTRAL` по-прежнему 512). Что сделают двигатели при значениях `analogRead`: 420, 440, 592, 600? Для каждого ответь «вперёд», «назад» или «стоп».

7.12. а) Сколько разных значений `analogRead` (целых от 0 до 1023) попадает в мёртвую зону функции из задачи 7.4 (`NEUTRAL = 512`, `DEAD_ZONE = 50`)? б) А если программист написал `≥` и `≤` вместо `>` и `<`?

Задача 7.5 Светофор у стартовой площадки

машина состояний, светофор, millis, трассировка, найди ошибку

Возьми машину состояний светофора из раздела 7.6 (рисунок и скетч). В момент включения горит красный.

- а) Какой сигнал горит через 30 с после включения?
- б) Программист ошибся в одной строке `loop()`: вместо `else if (state == 3 && t ≥ 3000)` написал `go(2)`. Что изменится? Какой сигнал будет гореть через 30 с?
- в) Другой программист убрал все слова `else` в `loop()`. Что будет со светофором?

Дано: красный 10 с → красный + жёлтый 2 с → зелёный 8 с → жёлтый 3 с → снова красный.

Найти: сигнал в момент 30 с в трёх вариантах программы.

Решение

Шаг 1. а) Длина круга. $10 + 2 + 8 + 3 = 23$ с. Через 23 с светофор вернулся в красный, и всё началось сначала. $30 - 23 = 7$ с нового круга. Красный горит с 0 до 10 с круга, 7 с попадает в красный.

Для надёжности – табличка моментов: 0 с – красный, 10 с – красный + жёлтый, 12 с – зелёный, 20 с – жёлтый, 23 с – красный, 33 с – красный + жёлтый. Момент 30 с лежит между 23 и 33: красный.

Шаг 2. б) Ошибка `go(2)`. Из жёлтого светофор теперь уходит не в красный, а в зелёный. Первый круг тот же: до 20 с всё как обычно, в 20 с жёлтый. В 23 с вместо красного – зелёный, он горит 8 с, до 31 с. Потом жёлтый 3 с, снова зелёный... Светофор застрял в петле «зелёный – жёлтый», красного больше не будет никогда. Через 30 с горит **зелёный**. По рисунку это видно сразу: стрелка из «3 · ЖЁЛТЫЙ» ведёт не туда, и в состояние 0 больше не входит ни одна стрелка.

Шаг 3. в) Без `else`. Посмотрим, что происходит в момент 10 с. Строка 1: `state = 0` и `t ≥ 10 000` – переход, `state` стал 1. Но `t` мы посчитали **до** перехода, в нём по-прежнему 10 000. Строка 2: `state = 1` и `t ≥ 2000` – тоже правда, `state = 2`. Строка 3: `10 000 ≥ 8000` – `state = 3`. Строка 4: `10 000 ≥ 3000` – `state = 0`. За один круг `loop()` светофор проскочил все состояния и вернулся в красный, а жёлтый и зелёный мигнули на миллионные доли секунды. Так будет каждые 10 с: для водителя светофор всё время красный.

Проверка. Мы прогнали все три варианта на компьютере – целую минуту работы светофора. В момент 30 с горят: в верной программе – красный; с `go(2)` – зелёный; без `else` – красный, и он не гаснет ни разу.

❗ **Типичная ошибка.** В пункте а) делить 30 на 4 состояния или забыть, что после жёлтого круг начинается заново. Считай по табличке моментов, а не «в уме». В пункте в) думать, что `else` «ни на что не влияет»: без него за один проход `loop()` может сработать несколько переходов подряд.

Ответ: а) красный; б) зелёный (красный больше не загорится – светофор ходит по кругу «зелёный – жёлтый»); в) горит только красный.

Своя задача по программе сферы, модуль 2

Реши сам

7.13. Светофор-машина состояний устроен как в разделе 7.6, но с другими временами: красный 20 с, красный + жёлтый 2 с, зелёный 15 с, жёлтый 3 с. В момент 0 включился красный. Какой сигнал горит через 75 с?

7.14. Из скетча светофора в разделе 7.6 случайно удалили строку `else if (state == 1 && t ≥ 2000) go(2);`, остальное не тронули. В момент 0 включился красный. Какой сигнал горит через 30 с?

Задача 7.6 Ширина тёмного пятна

Python, изображение, вложенные циклы, поиск максимума, счётчик подряд

Телескоп заметил на фоне звёзд чёрное пятно – это неизвестный аппарат с поглощающим свет покрытием. Его пиксели имеют яркость ровно 0; небо темнее 40, но не 0; звёзды яркие. Напиши на Python программу, которая находит **ширину пятна** – самый длинный отрезок нулей, идущих подряд в одной строке, – и заодно число всех пикселей пятна. Функция `get(x, y)` и размеры кадра `W`, `H` уже даны. Выведи два числа через пробел. Проверь на кадре с рисунка в разделе 7.5.

Дано: `get(x, y)` – яркость 0...255; пиксели пятна равны 0; `W`, `H` – ширина и высота.

Найти: самый длинный отрезок нулей подряд в строке; число нулей.

Решение

Шаг 1. Счётчик «поряд». Идём по строке слева направо и держим переменную `run` – сколько нулей подряд мы видим сейчас. Встретили 0 – `run` увеличиваем на 1. Встретили не 0 – отрезок кончился, `run = 0`. В начале каждой строки тоже `run = 0`: отрезок не может перескочить на следующую строку.

Шаг 2. Максимум. Переменная `best` помнит самый длинный отрезок. Начинаем с 0 («заведомо маленькое»). Каждый раз, когда `run` вырос, сравниваем: если `run > best`, то `best = run`.

Шаг 3. Число всех нулей – обычный счётчик `dark`, растёт на каждом нуле.

```

best = 0 # самый длинный отрезок нулей
dark = 0 # сколько всего нулей
for y in range(H): # строки сверху вниз
    run = 0 # длина текущего отрезка в этой строке
    for x in range(W): # точки слева направо
        if get(x, y) == 0:
            dark = dark + 1
            run = run + 1
            if run > best:
                best = run
        else:
            run = 0
print(best, dark)

```

Шаг 4. Проверка на кадре 8 × 8. По строкам нулей: 0, 2, 4, 6, 4, 2, 0, 0. Самый длинный отрезок – 6 (строка $y = 3$), всего $2 + 4 + 6 + 4 + 2 = 18$. Программа на этом кадре печатает 6 18. На рисунке так и есть: пятно – «ромбик» шириной 6 и высотой 5 точек.

❗ **Где ошибаются.** Обновляют `best` только тогда, когда отрезок **кончился** (в ветке `else`). Если пятно касается правого края кадра, после последнего нуля «не нуля» уже не будет, и самый длинный отрезок пропадёт. Сделай в кадре строку `[28, 31, 0, 0, 0, 0, 0, 0]` – такая программа выдаст 4 вместо 6. Бывает и проще: пятном считают всё тёмное (`get(x, y) < 40`), и в него попадает всё небо. Или путают координаты: `get(y, x)`.

Ответ: программа из шага 3; на кадре с рисунка она выводит 6 18.

По мотивам задач отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Чёрный звездолёт приближается!» и «Чёрный звездолёт заслоняет звёзды!»

Реши сам

7.15. Что выведет программа?

```

row = [12, 0, 0, 40, 0, 0, 0, 0, 9, 0]
best = 0
run = 0
for v in row:
    if v == 0:
        run = run + 1
        if run > best:
            best = run
    else:
        run = 0
print(best)

```

7.16. Телескоп снял один и тот же участок неба дважды. На старом снимке 480 не чёрных пикселей (звёзд и неба), на новом – 444: часть звёзд закрыл чёрный аппарат. Какой процент не чёрных пикселей пропал? Ответ в процентах, округли до десятых.

Задача 7.7* Загадочное послание

Python, простые множители, цикл while, деление нацело

Радиотелескоп принял сигнал из L точек (чёрных и белых). Похоже, это картинка: N строк по M точек. Чтобы её нарисовать, нужно угадать M . Гипотеза учёных: отправители выбрали размер из **простых** чисел, поэтому M – самый большой простой множитель числа L , а $N = L/M$. Если L само простое, то $M = L$, $N = 1$. Напиши программу на Python: на входе одно число L (от 2 до 10 000 000), на выходе через пробел M и N . Пример: вход 1147 – выход 37 31.

Дано: $2 \leq L \leq 10\,000\,000$.

Найти: M – наибольший простой множитель L ; $N = L/M$.

Решение

Шаг 1. Что такое простой множитель. Простое число делится без остатка только на 1 и на само себя: 2, 3, 5, 7, 11, 13... Любое целое число больше 1 раскладывается в произведение простых, и единственным образом (если не считать порядка множителей). Например, $3960 = 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 11$. Самый большой множитель тут 11, значит, $M = 11$, $N = 3960 : 11 = 360$.

Шаг 2. Как раскладывают вручную. Пробуем делить на 2, пока делится. Потом на 3, пока делится. Потом на 4, на 5 и так далее. На 4 уже ничего не поделится: все двойки мы вынули раньше. Так что делиться будут только простые числа – проверять простоту отдельно не нужно.

Шаг 3. Когда остановиться. Проверять делители до самого L долго: для десяти миллионов это десять миллионов делений. Хватит проверять, пока $d \cdot d \leq n$. Почему хватит?

Все делители меньше d мы уже вынули из n . Значит, если n ещё можно разложить на два множителя, каждый из них не меньше d , а их произведение не меньше $d \cdot d$. Если же $d \cdot d$ уже больше n , два таких множителя в n не помещаются: оставшееся n (если оно больше 1) – простое. И оно больше всех найденных делителей.

Пример: из 1147 вынули 31, осталось $n = 37$. Следующий кандидат $d = 32$. Чтобы 37 разложилось, нужны два множителя не меньше 32, но даже $32 \cdot 32 = 1024$ – это больше 37. Значит, 37 простое, дальше проверять незачем.

Шаг 4. Программа.

```

L = int(input())           # длина сообщения
n = L                     # копия, которую будем делить
d = 2                     # кандидат в делители
biggest = 1               # самый большой найденный простой множитель
while d * d ≤ n:
    while n % d == 0:      # пока делится - делим
        biggest = d
        n = n // d
    d = d + 1
if n > 1:                  # остался «хвост» - он тоже простой
    biggest = n
M = biggest
N = L // M
print(M, N)

```

Шаг 5. Проследим на 1147. $d = 2, 3, 4, \dots, 30$ – ни одно не делит 1147. При $d = 31$: $1147:31 = 37$ без остатка, `biggest = 31`, `n = 37`. Далее $d = 32$, $32 \cdot 32 = 1024 > 37$ – цикл кончился. $n = 37 > 1$, значит, `biggest = 37`. $M = 37$, $N = 1147:37 = 31$. Вывод `37 31` – как в примере.

Шаг 6. Тесты. Мы запустили программу:

```

1147      → 37 31
17         → 17 1
3960      → 11 360
10000000  → 5 2000000
9999991   → 9999991 1

```

Последнее число – простое, программа справилась за сотые доли секунды: последним проверенным делителем было $d = 3162$, ведь $3163 \cdot 3163 = 10\,004\,569$ уже больше L .

⚠ Типичная ошибка. Забыть про «хвост» – строки `if n > 1`. Тогда для 1147 программа выведет `31 37` (перепутает стороны картинки), для простого 17 – `1 17`, а для 3960 – `5 792`: одиннадцать так и останется в `n`. Ещё одна ловушка – `n / d` вместо `n // d`: в Python это дробное деление, и `n` превратится в дробное число `37.0`. И не дели сам `L` вместо копии `n`: в конце `N = L // M` посчитается уже от испорченного числа.

Ответ: программа из шага 4; на 1147 она выводит `37 31`, на 3960 – `11 360`.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Послание инопланетян (простые множители)»

Реши сам

7.17. Программе из задачи 7.7 подали на вход $L = 1573$. Что она выведет?

7.18.* Программе из задачи 7.7 подали на вход $L = 391$. Что она выведет? А что выведет программа, в которой забыли строки `if n > 1:` и `biggest = n`?

Пикоспутник: энергия, связь и циклограмма полёта



Самый большой модуль курса сферы – работа с учебным пикоспутником. Его собирают, прошивают, а в конце гоняют на стенде по всей циклограмме полёта: лампа светит – это Солнце, лампу выключили – спутник «ушёл в тень». Здесь собраны расчёты для такого испытания. Сколько ватт даст панель? Из скольких элементов собрать батарею? Дотянет ли спутник до конца тени, сколько снимков успеет уйти на Землю и что сломалось, если график телеметрии «поехал»? В задачах отбора прошлых лет это был короткий сюжет и одно число в ответ, а главная ловушка – в какую сторону округлить. Понадобятся главы 3, 4 и 6, так что эту главу удобнее читать последней.

8.1. Из чего состоит спутник

НА ПАЛЬЦАХ

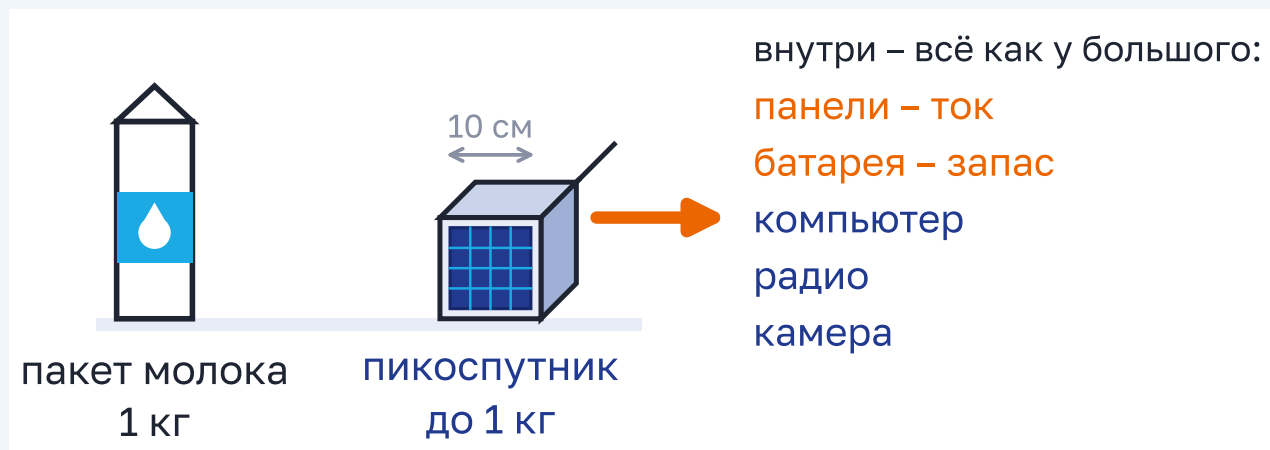


Рисунок 8.1 – Пикоспутник рядом с пакетом молока

Весит как пакет молока, а внутри – всё, что у большого спутника: панели, батарея, компьютер, радио, камера.

Пикоспутник – спутник массой от 100 граммов до 1 килограмма. А системы у него те же, что у спутника связи весом в несколько тонн, только маленькие. На курсе сферы с учебным пикоспутником работают командой. Все числа про учебный спутник в этой главе условные: у настоящего конструктора они свои, и в задаче их всегда дают в условии.

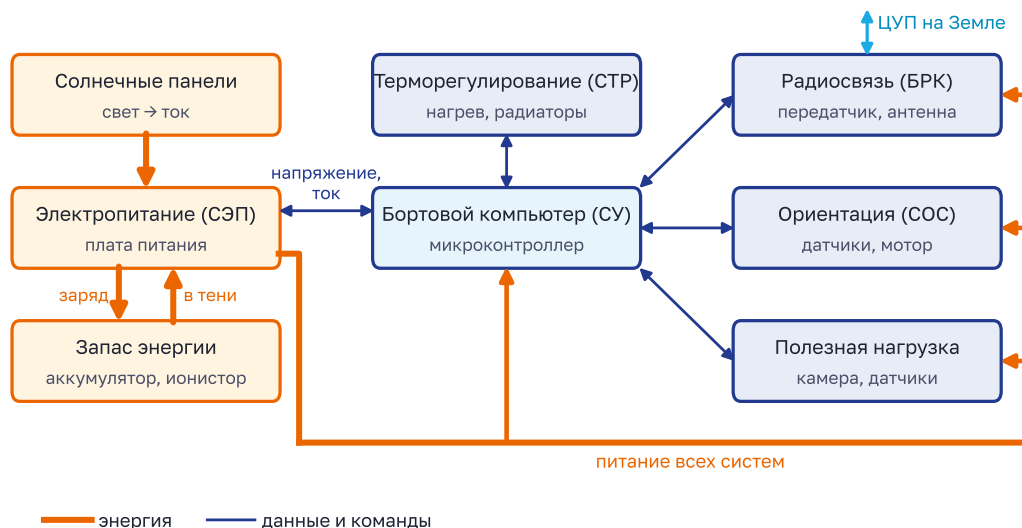


Рисунок 8.2 – Системы спутника. Оранжевые стрелки – куда течёт энергия, синие – куда идут данные и команды

В курсе у систем есть сокращённые названия, их знают на тестах: СУ, СОС, СТР, СЭП, БРК. Ниже каждая – с книжным названием и сокращением.

- **Система электропитания (СЭП).** Солнечные панели превращают свет в электричество. Аккумулятор или ионистор – **накопитель** энергии – запасает её на то время, когда спут-

ник в тени Земли. Плата питания раздаёт ток всем остальным системам и измеряет напряжение и ток – эти числа уходят в бортовой компьютер.

- **Бортовой компьютер (система управления, СУ)** – микроконтроллер, родственник того, что стоит на Arduino Uno. Он по расписанию включает и выключает остальные системы, опрашивает датчики и собирает телеметрию.
- **Радиосвязь (бортовой радиокomплекс, БРК)** – передатчик, приёмник и антенна. По радио спутник получает команды с Земли и отправляет вниз данные. На Земле с ним говорит **ЦУП** – центр управления полётом.
- **Система ориентации (СОС, полностью – ориентации и стабилизации)** – датчики, которые подсказывают, как спутник повернут (гироскоп чувствует вращение, датчик освещённости – откуда светит Солнце), и то, что спутник или его панель поворачивает. На учебном пикоспутнике это поворотное устройство с мотором.
- **Система терморегулирования (СТР)**. В космосе на свету аппарат нагревается до 150 °С, а в тени быстро остывает. СТР выравнивает перепады: теплоизоляция, радиаторы, нагреватели. У маленького пикоспутника хватает покрытия корпуса и расчёта, но в тесте курса про СТР есть вопрос. В задачах этой главы она не нужна.
- **Полезная нагрузка** – то, ради чего спутник вообще запустили: камера, научный прибор, радиомаяк.

Всё это держится на **корпусе** – его ты строишь в «Компас-3D» в главе 5.

Посмотри на рисунок ещё раз: все оранжевые стрелки начинаются в одном месте. Кончилась энергия – бортовой компьютер выключается, и спутник замолкает: ни снимков, ни телеметрии, ни ответа на команды с Земли. Поэтому почти все задачи этой главы – про энергию: откуда она берётся, где хранится и хватит ли её.

Запомни. В курсе пять систем: СУ (управление, она же бортовой компьютер), СОС (ориентация и стабилизация), СТР (терморегулирование), СЭП (электропитание), БРК (радиокomплекс). Полезная нагрузка – не система, а цель полёта. СЭП кормит все остальные – поэтому любой расчёт спутника начинается с вопроса «хватит ли энергии».

8.2. Солнечная панель: сколько ватт даёт свет

НА ПАЛЬЦАХ

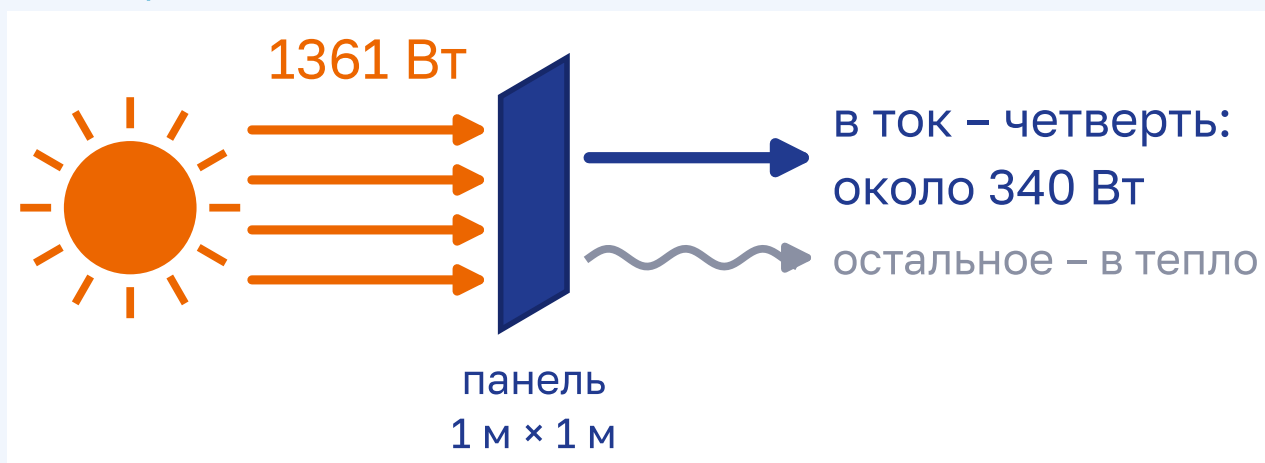


Рисунок 8.3 – Квадратный метр солнечного света и панель, которая превращает его в ток

На квадратный метр в космосе Солнце льёт 1361 Вт – как электрочайник. Панель превращает в ток только часть.

Около Земли, но выше воздуха, на каждый квадратный метр, повёрнутый прямо к Солнцу, падает **1361 Вт** солнечного света. Это число называют **солнечной постоянной**. У поверхности Земли света меньше: часть поглощает и рассеивает воздух. В ясный летний полдень на квадратный метр приходится около 1000 Вт, а в декабре в Новосибирске, когда Солнце едва поднимается над крышами, – в разы меньше.

Солнечная панель превращает в электричество только часть этого света. Эту часть называют **КПД** – коэффициент полезного действия. У хороших космических панелей КПД около 30 %, у простых – около 20 %. Остальной свет отражается или просто греет панель: в июле тёмная крыша машины на солнце горячая как раз поэтому.

Мощность панели, которая смотрит прямо на Солнце, – это солнечная постоянная, умноженная на площадь панели и на КПД:

$$P = S \cdot A \cdot \eta.$$

Здесь P – электрическая мощность панели (Вт), S – солнечная постоянная (1361 Вт/м²), A – площадь панели (м²), η (греческая буква «эта») – КПД, записанный десятичной дробью: 25 % = 0,25 (про проценты – глава 3).

Пример. Панель 10 × 10 см с КПД 25 %. Сначала метры: 10 см = 0,1 м, площадь $A = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01$ м². На неё падает $1361 \cdot 0,01 = 13,61$ Вт света, в электричество превращается $13,61 \cdot 0,25 \approx 3,4$ Вт.

Совет. Площадь в м² считай из сторон, уже переведённых в метры: 10 см = 0,1 м, а потом умножай. Если сначала получить 100 см², легко ошибиться при переводе: в 1 м² не 100, а 10 000 см².

Если панель повёрнута к Солнцу боком. Посмотри на рисунок. Панель, которая смотрит прямо на Солнце, ловит все 8 лучей. Повернём её на 60° – лучи падают косо, и на неё попа-

дают только 4 луча из 8. Панель та же, а мощность упала вдвое.

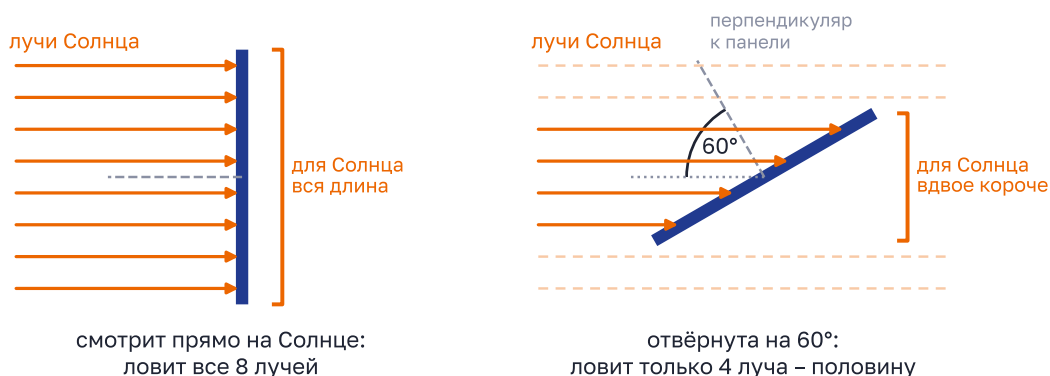


Рисунок 8.4 – Одна и та же панель. Повёрнутая на 60° от Солнца, она ловит только половину лучей

Почему так? Представь, что ты сидишь на Солнце и смотришь на панель. Повёрнутая боком, она кажется тебе уже – как книга, которую поворачивают к тебе корешком. Оранжевая скобка на рисунке показывает, сколько места панель занимает поперёк лучей: при 60° – половину своей длины. Какую долю своей длины панель занимает поперёк лучей, такую долю света она и ловит. Эту долю обозначают k .

Угол считают между лучами и **перпендикуляром** к панели – прямой, которая торчит из панели под прямым углом. 0° – панель смотрит прямо на Солнце, 90° – лучи скользят вдоль неё, и она не даёт ничего. Для самых частых углов k уже посчитан:

Таблица 8.1

Угол между лучами и перпендикуляром	Доля света k
0°	1
30°	0,87
45°	0,71
60°	0,5
75°	0,26
90°	0

С поворотом формула становится такой:

$$P = S \cdot A \cdot \eta \cdot k.$$

Совет. Угла нет в таблице? Начерти его. Пусть лучи идут горизонтально, как на рисунке. Из одной точки начерти вертикальную прямую (она поперёк лучей) и отрезок-«панель» длиной 100 мм под нужным углом к этой вертикали. Из второго конца панели проведи горизонталь до вертикали. Кусок вертикали между двумя точками – это «ширина для Солнца». Для угла 50° выйдет около 64 мм из 100, значит, $k \approx 0,64$. На бумаге хватит линейки и транспортира, а в «Компас-3D» – эскиза, команды «Отрезок» и «Авторазмера» (глава 5), и там получится точнее.

Запомни. Метр на метр солнечного света в космосе – 1361 Вт. Панель отдаёт из них $P = S \cdot A \cdot \eta \cdot k$: площадь – в м², КПД – десятичной дробью, k – какая доля панели «видна» Солнцу (прямо – 1, на 60° – 0,5, боком – 0).

8.3. Слежение за Солнцем

НА ПАЛЬЦАХ

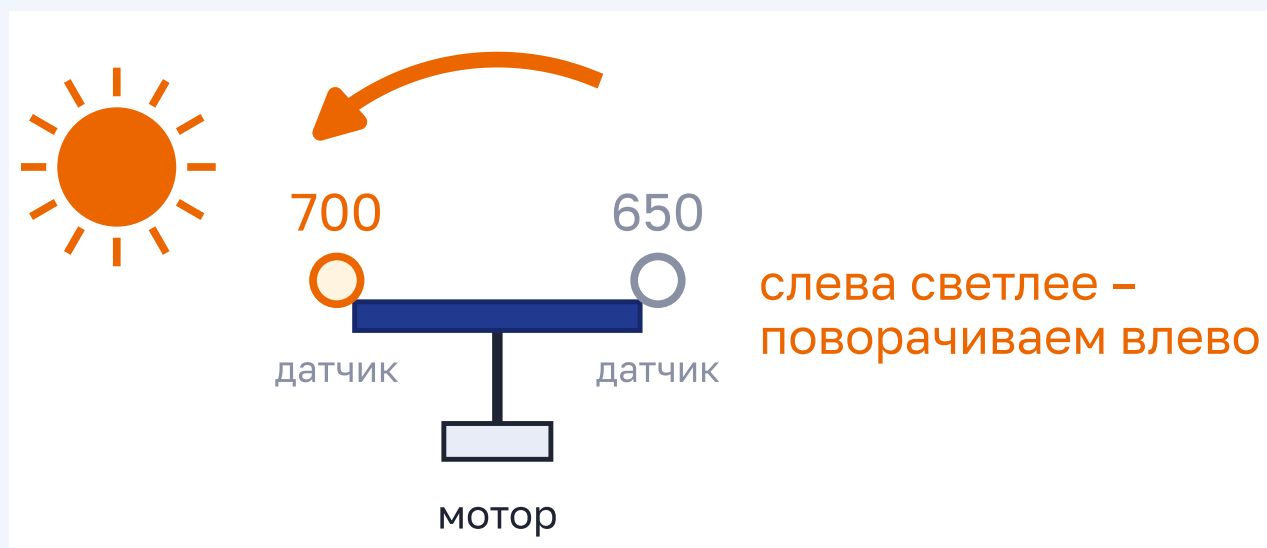


Рисунок 8.5 – Два датчика света по краям панели

Где светлее – туда и поворачивай.

Спутник летит по орбите, и Солнце для него всё время «переезжает» по небу. Панель, приклеенная к корпусу намертво, то смотрит прямо на Солнце, то встаёт к нему боком ($k = 0$), а то и вовсе оказывается на теневой стороне. Поэтому у многих спутников панели поворачиваются, а на учебном пикоспутнике для этого есть **поворотное устройство**.

Как оно понимает, куда поворачивать? Слева и справа от панели стоят два датчика света. Если левый показывает заметно больше правого, Солнце слева – крутим влево. Если больше правый – вправо. Если показания почти равны, панель смотрит на Солнце – стоим. Всё дело в слове «почти»: два датчика никогда не показывают ровно одно и то же. Потребуй точного равенства – и мотор будет без конца дёргаться туда-сюда, съедая энергию. Поэтому маленькую разницу – не больше **порога** – программа не замечает.

Так может выглядеть программа слежения на Arduino (на учебном спутнике ножки и библиотека свои, а идея та же; язык C++ подробно разобран в главе 7):

```

const int LEFT = A0;      // датчик света слева
const int RIGHT = A1;     // датчик света справа
const int MOTOR_L = 5;    // ножка «поворачивай влево»
const int MOTOR_R = 6;    // ножка «поворачивай вправо»
const int POROG = 30;     // разницу до 30 включительно не замечаем

void setup() {
  pinMode(MOTOR_L, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR_R, OUTPUT);
}

void loop() {
  int l = analogRead(LEFT);
  int r = analogRead(RIGHT);
  if (l - r > POROG) {      // слева заметно светлее
    digitalWrite(MOTOR_R, LOW);
    digitalWrite(MOTOR_L, HIGH);
  } else if (r - l > POROG) { // справа заметно светлее
    digitalWrite(MOTOR_L, LOW);
    digitalWrite(MOTOR_R, HIGH);
  } else {                 // смотрим на Солнце – стоим
    digitalWrite(MOTOR_L, LOW);
    digitalWrite(MOTOR_R, LOW);
  }
  delay(100);
}

```

Десять раз в секунду программа читает оба датчика (`analogRead` даёт число от 0 до 1023 – глава 6) и сравнивает. Например, `l = 700`, `r = 650`: разница 50 больше порога 30, значит, включится ножка 5 – поворот влево. А при `l = 640`, `r = 620` разница 20 – меньше порога, мотор стоит. И ещё мелочь, которая бережёт мотор: перед тем как включить одну ножку, программа гасит другую – иначе мотор получил бы «влево» и «вправо» сразу.

Окупается ли поворот? Мотор тоже ест энергию, но недолго: повернул – и стоит. А панель, отвёрнутая на 60°, теряет половину мощности всё время, пока отвёрнута. Почти всегда поворот выгоден.

Запомни. Зачем вообще крутить панель: чтобы k оставалось около 1. Сравниваем с порогом, а не на равенство – иначе мотор не успокоится. Разница ровно в порог – ещё «стоим» (в программе стоит знак `>`, а не `≥`).

8.4. Аккумулятор: ватт-часы и батарея из элементов

НА ПАЛЬЦАХ

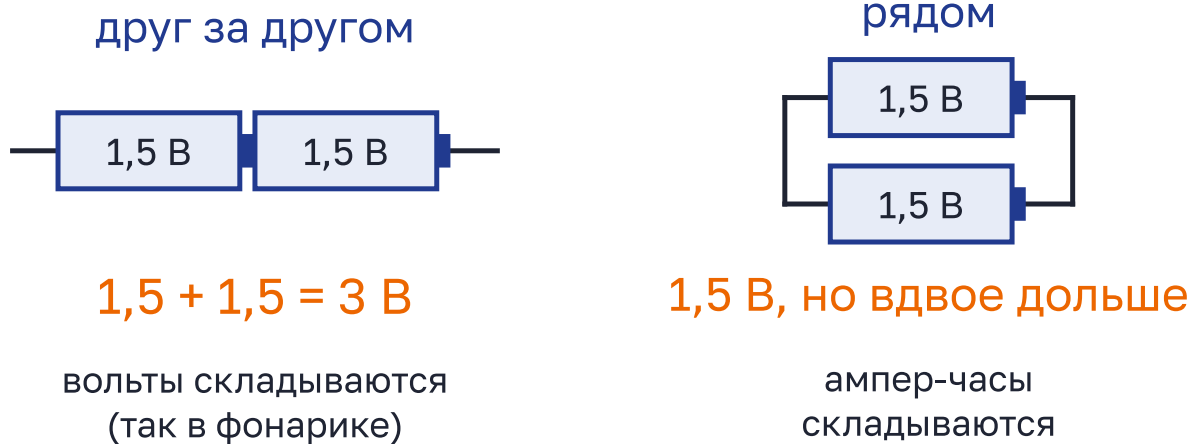


Рисунок 8.6 – Две батарейки: друг за другом и рядом

Друг за другом – вольты складываются, как в фонарике на двух батарейках. Рядом – вольты те же, зато хватает вдвое дольше.

В главе 6 (раздел 6.10) мы считали батарейки для прибора. На спутнике всё так же, только отправная точка другая: известна **мощность** систем и **время в тени**, а нужно найти, сколько аккумуляторных элементов собрать в батарею. Одна «банка» аккумулятора называется **элементом**.

Из главы 6 понадобятся три формулы. Мощность $P = U \cdot I$ (ватты = вольты · амперы). Энергия, которую прибор мощностью P тратит за время t : $E = P \cdot t$; если P в ваттах, а t в часах, энергия выйдет в **ватт-часах** (Вт·ч). Энергия элемента: напряжение · ёмкость, например $3,7 \text{ В} \cdot 2,5 \text{ А} \cdot \text{ч} = 9,25 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$.

Как собрать батарею. Элементы соединяют в **последовательные цепочки** – так складываются вольты. Затем одинаковые цепочки соединяют **параллельно** – так складываются ампер-часы.

1. **Элементов в цепочке:** нужное напряжение / напряжение элемента, **вверх**. Меньше нужного напряжения нельзя – системы не заработают. Небольшое превышение обычно разрешают (в задаче об этом скажут).
2. **Время в тени** переведи в часы: 36 мин = $36 / 60 = 0,6 \text{ ч}$.
3. **Ток систем:** $I = P/U$, где U – напряжение бортовой сети.
4. **Нужная ёмкость:** ток · время в тени ($\text{А} \cdot \text{ч} = \text{А} \cdot \text{ч}$).
5. **Цепочек:** нужная ёмкость / ёмкость одного элемента, **вверх** (нужно, чтобы хватило).
6. **Всего элементов:** в цепочке · число цепочек.

Пример. Системам небольшого спутника нужно 11 В и 100 Вт, тень длится 36 минут. Элементы – 3,7 В и 2,5 А·ч.

- В цепочке: $11/3,7 = 2,97 \rightarrow 3$ элемента, цепочка даёт $3 \cdot 3,7 = 11,1 \text{ В}$.
- Время: 36 мин = 0,6 ч. Ток: $100/11 \approx 9,09 \text{ А}$. Ёмкость: $9,09 \cdot 0,6 \approx 5,45 \text{ А} \cdot \text{ч}$.

- Цепочек: $5,45/2,5 = 2,18 \rightarrow 3$. Всего $3 \cdot 3 = 9$ элементов.

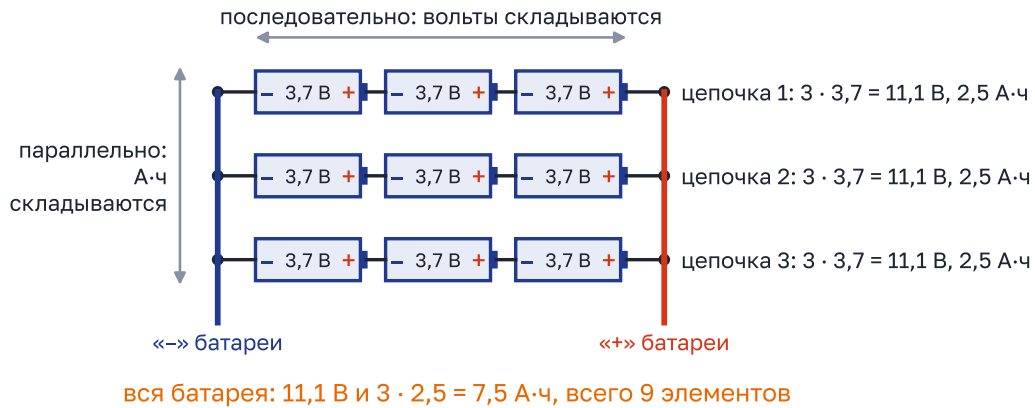


Рисунок 8.7 – Батарея из 9 элементов: три цепочки по три элемента соединены параллельно

Проверка через энергию. В тени нужно $100 \cdot 0,6 = 60$ Вт·ч. Одна цепочка хранит $11,1 \cdot 2,5 = 27,75$ Вт·ч, три – 83,25 Вт·ч, больше, чем нужно. Двух (55,5 Вт·ч) не хватило бы.

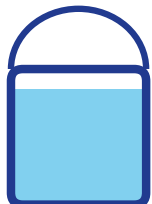
Совет. Настоящий аккумулятор спутника никогда не разряжают до нуля – от этого он быстро стареет. Если в условии сказано «разряжать не больше чем на 40 %», значит, из батареи можно брать только 0,4 её энергии: нужную ёмкость раздели на 0,4, и цепочек станет больше.

Запомни. Порядок всегда один: сначала вольты (сколько элементов в цепочке), потом ампер-часы (сколько цепочек). Оба числа округляем **вверх** – недостающий элемент не допаяешь на орбите. Время в тени – в часах. Проверка: энергия батареи не меньше $P \cdot t$.

8.5. Ионистор: конденсатор-«батарейка»

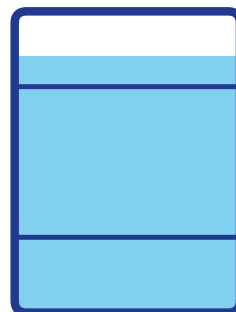
НА ПАЛЬЦАХ

ионистор = ведро



наливается
за минуту,
но воды мало

аккумулятор = бочка



наливать долго,
зато хватит
надолго

Рисунок 8.8 – Ведро и бочка с водой

Ионистор – ведро: наполняется за минуту, но воды в нём мало. Аккумулятор – бочка на даче: наливать долго, зато хватит надолго.

Ионистор (другое название – суперконденсатор) – это конденсатор огромной ёмкости: у ионистора на 10 Ф она в сто тысяч раз больше, чем у конденсатора 100 мкФ из главы 6. Ёмкость ионисторов пишут прямо в фарадах: 1 Ф, 10 Ф, 50 Ф. На учебном пикоспутнике энергию на тень запасают именно ионисторы.

Чем ионистор хорош: заряжается за секунды и минуты, выдерживает сотни тысяч зарядов и разрядов и не боится холода (телефон в минус тридцать на остановке садится на глазах, а ионистор мороз переносит куда спокойнее). Чем плох: энергии в нём мало. И ещё одно отличие от аккумулятора: пока ионистор разряжается, напряжение на нём падает всё ниже, а у аккумулятора большую часть времени меняется мало.

Энергию в ионисторе считают по формуле: *ёмкость, умноженная на квадрат напряжения, пополам*:

$$E = \frac{C \cdot U^2}{2}.$$

Здесь C – ёмкость (Ф), U – напряжение (В), $U^2 = U \cdot U$, а энергия E выходит в **джоулях** (Дж). Один джоуль – это энергия, которую прибор мощностью 1 Вт тратит за 1 секунду. Поэтому 1 Вт·ч = 3600 Дж.

Пример. Ионистор 10 Ф заряжен до 5 В: $E = 10 \cdot 5 \cdot 5 / 2 = 125$ Дж. Много это или мало? Одна батарейка АА (1,5 В, 2,4 А·ч) хранит $1,5 \cdot 2,4 = 3,6$ Вт·ч = $3,6 \cdot 3600 = 12\,960$ Дж – в сто раз больше.

Сколько энергии можно взять. Бортовой компьютер работает только при напряжении не ниже какого-то – например, 3 В. Значит, ионистор нельзя опустошить до нуля: полезна только энергия между начальным напряжением U_1 и наименьшим U_2 :

$$E_{\text{пол}} = \frac{C \cdot U_1^2}{2} - \frac{C \cdot U_2^2}{2} = \frac{C \cdot (U_1^2 - U_2^2)}{2}.$$

Пример. Ионистор 10 Ф разряжается от 5 В до 2,5 В. В начале 125 Дж, в конце $10 \cdot 2,5 \cdot 2,5 / 2 = 31,25$ Дж. Полезно $125 - 31,25 = 93,75$ Дж. Напряжение упало всего вдвое, а отдано три четверти энергии – из-за квадрата.

Сколько он продержится. Время = энергия / мощность: $t = E/P$ (Дж / Вт = с). Если бортовые системы берут 0,5 Вт, 93,75 Дж хватит на $93,75 / 0,5 = 187,5$ с – примерно на три минуты. На стенде этого достаточно, но на настоящей орбите тень длится полчаса, поэтому у настоящих спутников – аккумуляторы.

Сколько он заряжается. Если панель даёт 1 Вт, а ионистору нужно получить 80 Дж, заряд займёт не меньше $80 / 1 = 80$ с. На деле чуть дольше: часть энергии по дороге теряется.

Совет. Сначала возводи в квадрат, потом вычитай: $5^2 - 3^2 = 25 - 9 = 16$. Если сначала вычешь напряжения, получится $(5 - 3)^2 = 4$ – в четыре раза меньше правды.

Запомни. В ионисторе $C \cdot U^2 / 2$ джоулей, но взять можно не всё – только до напряжения, при котором компьютер ещё жив. Джоули делим на ватты – получаем секунды. И 1 Вт·ч = 3600 Дж: пригодится, когда ионистор сравнивают с аккумулятором.

8.6. Энергобаланс витка

НА ПАЛЬЦАХ

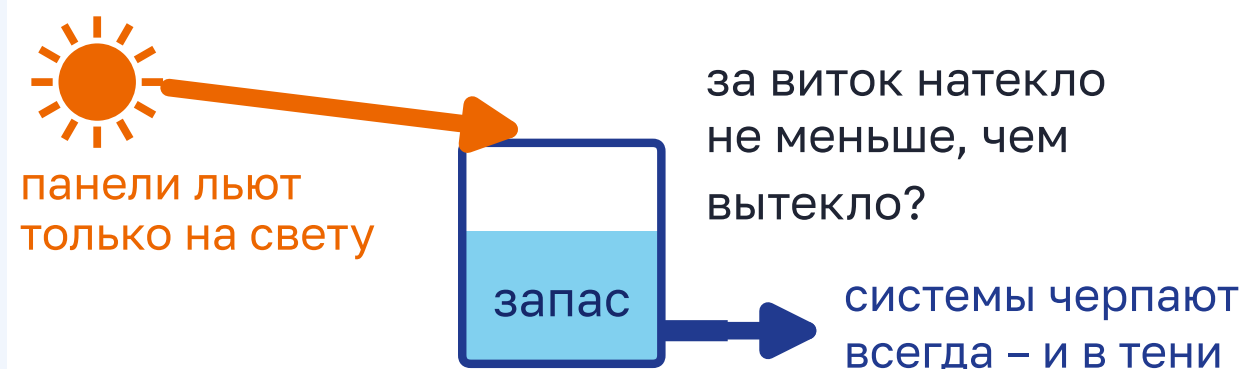


Рисунок 8.9 – Бочка на даче: доливают только днём, черпают всё время

Панели доливают энергию только на свету, а системы черпают её всегда. Натекло за виток меньше, чем вытекло, – бочка понемногу пустеет.

Спутник на низкой орбите на каждом витке часть времени летит на свету, а часть – в тени Земли (глава 4, раздел 4.6). В задачах этой главы виток длится 90 минут: 60 минут свет и 30 минут тень, если в условии не сказано иначе.

На свету панели кормят все системы, а излишек уходит в аккумулятор. В тени панели молчат, и всё идёт из аккумулятора. Чтобы спутник жил долго, его проверяют с двух сторон. Первое – **баланс витка**: панели на свету должны дать не меньше энергии, чем системы тратят **за весь виток** – и на свету, и в тени. Иначе запас с каждым витком тает. Второе – **запас на тень**: аккумулятор должен пережить одну тень, то есть системы за время тени не должны съесть больше, чем можно из него взять.

Когда время в минутах, удобно считать энергию в **ватт-минутах** (Вт·мин): прибор в 1 Вт за минуту тратит 1 Вт·мин. В ватт-часы переводят делением на 60: 60 Вт·мин = 1 Вт·ч.

Пример. Панели дают 3 Вт, системы всё время берут 1,5 Вт, из аккумулятора можно взять 4 Вт·ч.

- Панели за 60 минут света: $3 \cdot 60 = 180$ Вт·мин.
- Системы за весь виток: $1,5 \cdot 90 = 135$ Вт·мин.
- Баланс: $180 - 135 = +45$ Вт·мин = 0,75 Вт·ч. Плюс – хорошо.
- Тень: $1,5 \cdot 30 = 45$ Вт·мин = 0,75 Вт·ч, аккумулятор на 4 Вт·ч выдержит.

А если системы берут 2,4 Вт? За виток они потратят $2,4 \cdot 90 = 216$ Вт·мин, а панели дадут те же 180. Каждый виток запас уменьшается на 36 Вт·мин = 0,6 Вт·ч. Начав с 2,5 Вт·ч, спутник опустошит аккумулятор на пятом витке, примерно через 7 часов.

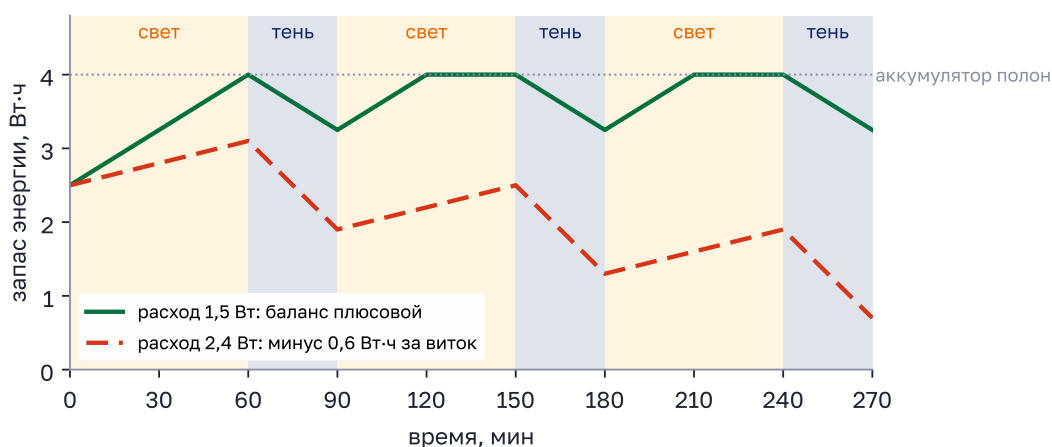


Рисунок 8.10 – Запас энергии в аккумуляторе на трёх витках. Зелёная линия – баланс плюсовой: запас возвращается, а когда аккумулятор полон, лишняя энергия пропадает. Красная – минусовой: каждый виток запас меньше на 0,6 Вт·ч

Если баланс минусовой, есть четыре способа: поставить панели побольше, поворачивать их к Солнцу, выключить часть систем или составить расписание так, чтобы прожорливые системы работали меньше. Такое расписание называют циклограммой.

Запомни. Две разные проверки, и нужны обе. Баланс: панели за свет дают не меньше, чем системы съедают за **весь** виток, вместе с тенью. Запас: одну тень аккумулятор должен вытянуть сам. Ватт-минуты делим на 60 – получаем ватт-часы.

8.7. Радиосвязь и ИК-связь

НА ПАЛЬЦАХ

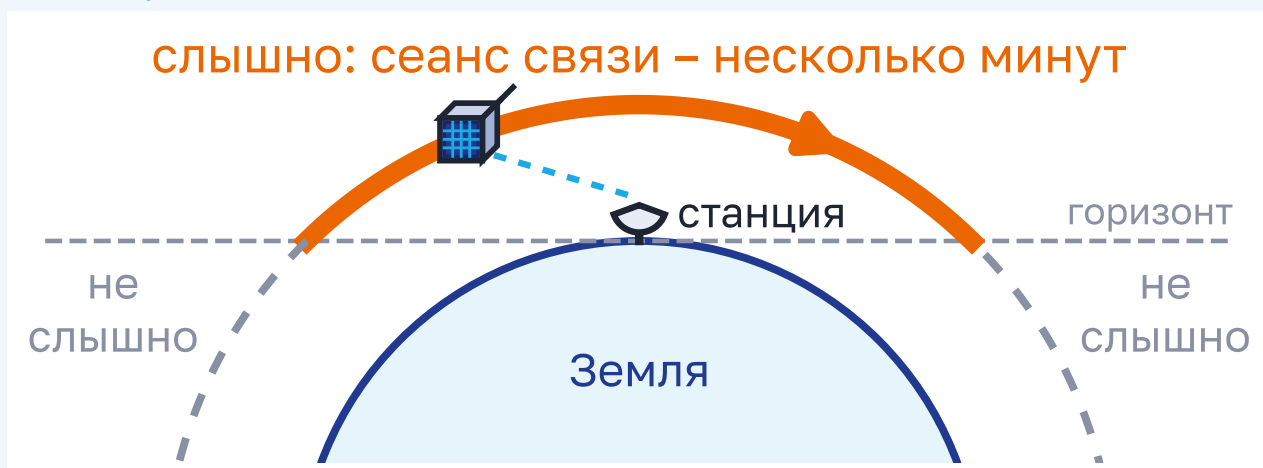


Рисунок 8.11 – Станция на Земле и пролёт спутника

Станция слышит спутник, только пока он над горизонтом, – несколько минут за пролёт. Как автобус на остановке: не успел зайти – жди следующего.

Радиоволны – родня свету, только глаз их не видит. Летят они со скоростью света, около 300 000 км/с. Волна колеблется много раз в секунду; сколько именно – показывает **частота** f , её измеряют в герцах (Гц): 1 Гц – одно колебание в секунду, 1 МГц (мегагерц) = 1 000 000 Гц. Расстояние, которое волна пролетает за одно колебание, – **длина волны** λ («лямбда»):

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где c – скорость света в м/с (300 000 км/с = 300 000 000 м/с), f – частота в Гц. Пример: многие учебные и любительские радиомодули работают на частоте 433 МГц.

$\lambda = 300\,000\,000 / 433\,000\,000 \approx 0,69$ м. Антенну часто делают длиной в четверть волны – около 17 см.

Чтобы передать нули и единицы, волну немного меняют – это называется **модуляцией**. Например, чуть сдвигают частоту: одна частота означает «0», другая – «1».

Сеанс связи. С Земли на спутник идут команды, со спутника на Землю – телеметрия и снимки. Но наземная станция слышит низкий спутник, только пока он над горизонтом, – обычно несколько минут за пролёт (как считать пролёты – в главе 4). Это время называют **сеансом связи**. Всё, что спутник наснимал между сеансами, он хранит в памяти и отправляет, когда снова появится над станцией.

Сколько данных успеем передать. Данные измеряют в **битах** (одна двоичная цифра, 0 или 1 – глава 7) и **байтах**: 1 байт = 8 бит. Скорость передачи пишут в **битах в секунду** (бит/с).

- Размер снимка: ширина · высота · байт на одну точку. Чёрно-белый снимок, где каждая точка – один байт (256 оттенков серого), размером 160 × 120 точек весит $160 \cdot 120 = 19\,200$ байт = $19\,200 \cdot 8 = 153\,600$ бит.
- Время передачи: биты / скорость. При 9600 бит/с этот снимок уйдёт за $153\,600 / 9600 = 16$ с.

- Сколько снимков за сеанс: время сеанса / время одного снимка, **вниз** – половина снимка никому не нужна.

Совет. Следи, где биты, а где байты: размер файла почти всегда в байтах, а скорость – в битах в секунду. Забудешь умножить на 8 – получишь ответ в 8 раз лучше правды. И смотри, куда округлять: «чтобы хватило» – вверх, «сколько успеем, сколько поместится» – вниз.

ИК-связь. Инфракрасный свет глазом не виден, а ведь им пульт переключает каналы телевизора. Передатчик – ИК-светодиод, который быстро мигает кодом, приёмник – датчик, который эти вспышки ловит. ИК-связь простая и дешёвая, но работает только на прямой видимости и на небольшом расстоянии, а яркое Солнце ей мешает – в солнечном свете тоже много инфракрасного. На курсе сферы по ИК пикоспутники обмениваются посланиями друг с другом и принимают команды с пульта. Радио – для дальней связи с Землёй: оно проходит сотни километров и не боится облаков.

Запомни. Размер – в байтах, скорость – в битах в секунду, поэтому байты сначала умножаем на 8. Снимков за сеанс считаем только целые – округляем вниз. Длина волны $\lambda = c/f$, если частоту взять в герцах. ИК – для соседа, которого видно, радио – для Земли.

8.8. Циклограмма полёта

НА ПАЛЬЦАХ

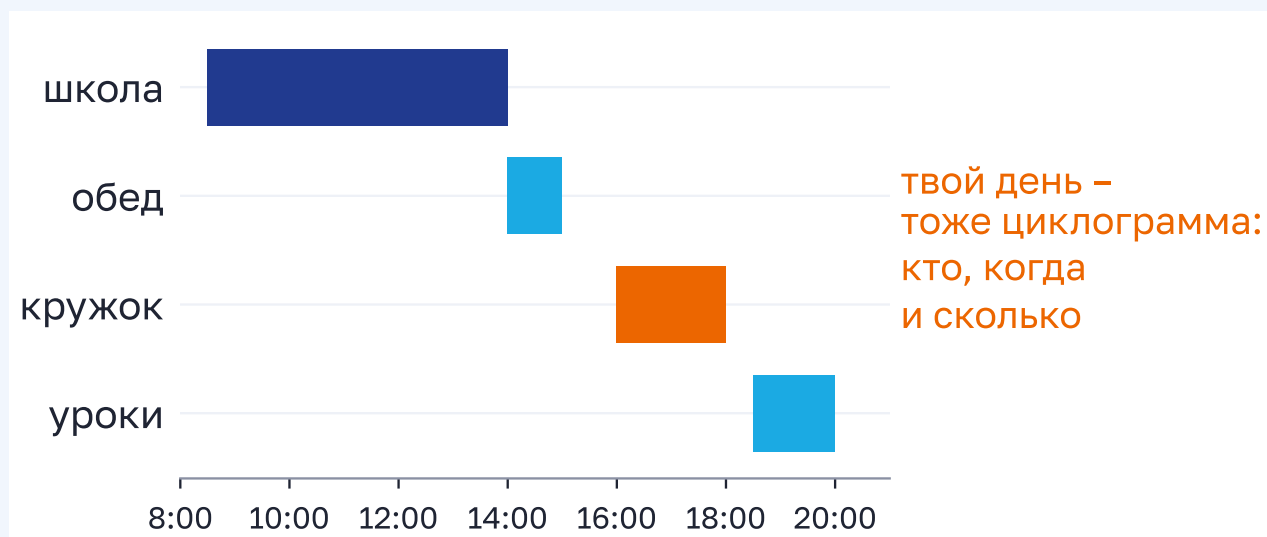


Рисунок 8.12 – Твой день, нарисованный лентой

Циклограмма – то же расписание, только не уроков, а приборов: кто, когда и сколько работает.

Циклограмма – расписание работы всех систем спутника: что, когда и сколько времени включено. Её записывают таблицей (режим, мощность, начало, длительность) и рисуют «лен-

той»: каждая система – своя строка, закрашено время, когда она работает. Под лентой удобно пометить, где свет, а где тень.

Возьмём испытание на стенде вроде того, что проводят в конце курса. Сначала панель поворачивают к «Солнцу» (лампе), потом ионистор заряжается, спутник передаёт по ИК кодовое послание другому спутнику и принимает ответ, а затем отправляет данные в ЦУП по радио. Числа условные.

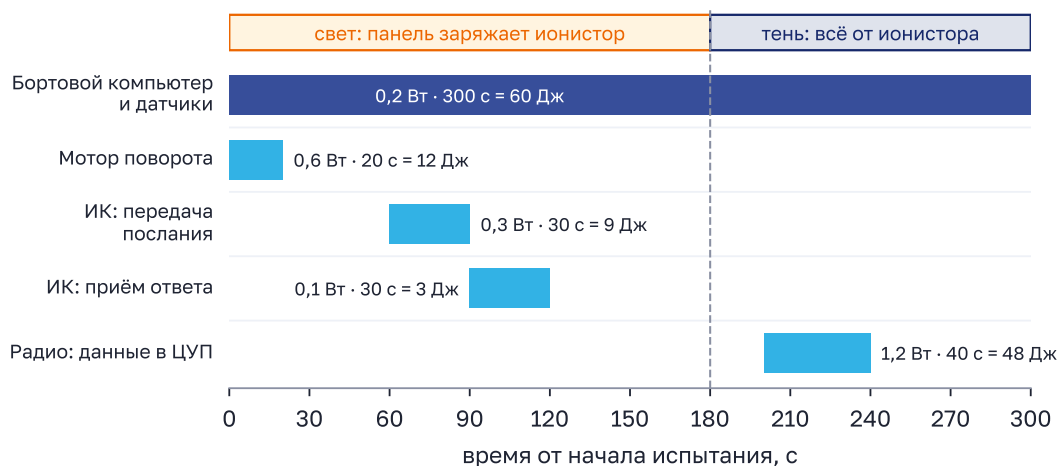


Рисунок 8.13 – Циклограмма испытания на стенде: какие системы когда работают и сколько энергии тратят

Энергия каждого режима – мощность · время ($E = P \cdot t$, Вт · с = Дж):

Таблица 8.2

Режим	Мощность	Время	Энергия
Бортовой компьютер и датчики	0,2 Вт	0–300 с (300 с)	60 Дж
Мотор поворота	0,6 Вт	0–20 с (20 с)	12 Дж
ИК: передача послания	0,3 Вт	60–90 с (30 с)	9 Дж
ИК: приём ответа	0,1 Вт	90–120 с (30 с)	3 Дж
Радио: данные в ЦУП	1,2 Вт	200–240 с (40 с)	48 Дж
Всего			132 Дж

Хватит ли ионистора? В тени (с 180 по 300 с) работают бортовой компьютер ($0,2 \cdot 120 = 24$ Дж) и радио (48 Дж) – всего 72 Дж. Ионистор 10 Ф, заряженный к началу тени до 5 В, отдаст до 3 В $10 \cdot (25 - 9) / 2 = 80$ Дж. Хватает, запас 8 Дж.

А если радиосеанс продлить до 60 секунд? Радио возьмёт $1,2 \cdot 60 = 72$ Дж, в тени понадобится 96 Дж – больше 80, и спутник замолчит посреди передачи. Выход – перенести радиосеанс на свет, пока панель подпитывает систему. Отсюда главное правило: **прожорливые режимы – на свет, в тень – только необходимое.**

Как составить циклограмму под ограничение энергии:

1. Выпиши режимы, без которых задание не выполнить, с их мощностями и длительностями.
2. Посчитай энергию каждого и сумму.

3. Сложи энергию режимов, которые попадают в тень, и сравни с полезной энергией накопителя.
4. Не влезает – переноси самые прожорливые режимы на свет, укорачивай или выключай необязательные.
5. Оставь запас: реальные детали берут чуть больше, чем в паспорте.

Запомни. Мало, чтобы хватило «в сумме»: тень проверяют отдельно, потому что там мощности от панели нет. Не влезает – сначала двигай на свет самый прожорливый режим, и только потом что-то выключай.

8.9. Телеметрия: как найти, что пошло не так

НА ПАЛЬЦАХ

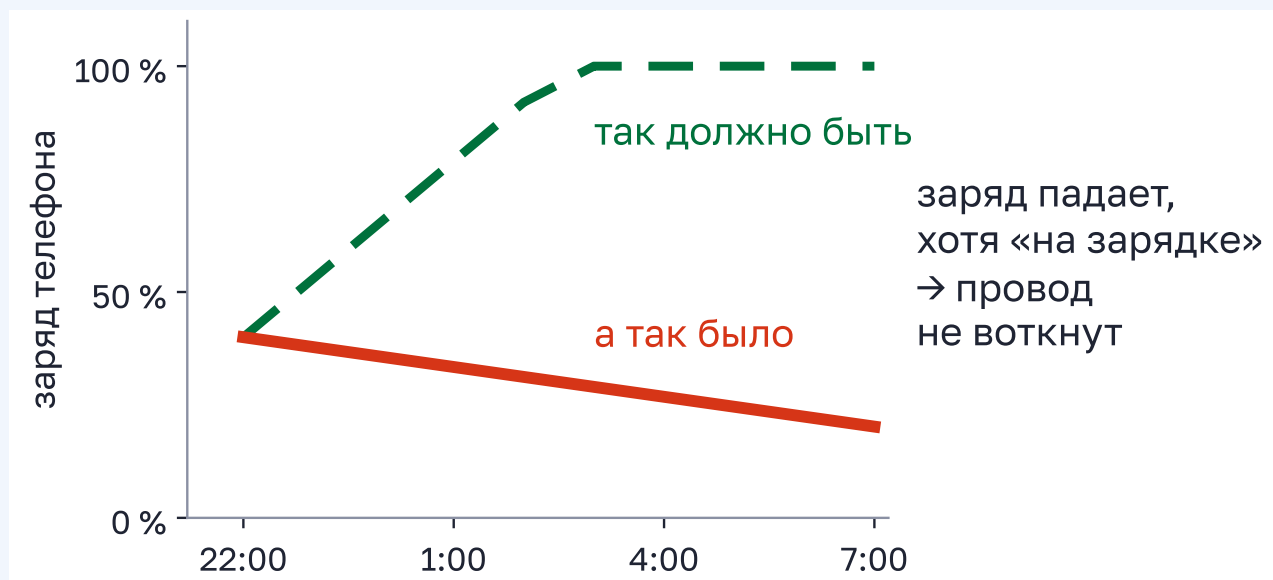


Рисунок 8.14 – Заряд телефона за ночь: как должно быть и как было

Телефон всю ночь «на зарядке», а утром заряда меньше, чем вечером. Значит, зарядка не шла. Так же читают и телеметрию спутника.

Телеметрия – измерения, которые спутник отправляет на Землю: напряжение и заряд накопителя, ток от панелей, температура, текущий режим. Сам спутник не расскажет, что у него болит, поэтому в ЦУП читают графики и таблицы телеметрии, как врач читает кардиограмму. Главный приём – тот же, что с телефоном: сравнить, как **должно** быть, с тем, как **было**.

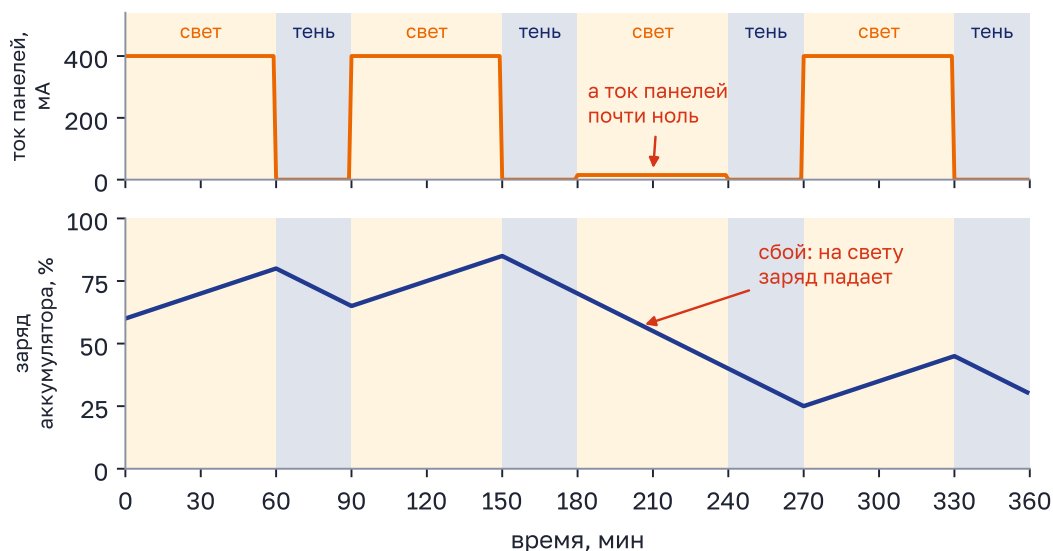


Рисунок 8.15 – Телеметрия за четыре витка. На третьем витке ток от панелей почти нулевой, и на свету заряд падает вместо того, чтобы расти

Как читать такой график:

1. Раздели время на свет и тень.
2. Проверь каждый кусок. На свету заряд должен расти (или стоять на 100 %), в тени – ровно падать, каждый виток с одинаковым наклоном.
3. Нашёл кусок, где что-то не так, – посмотри в тот же момент на другие измерения. Они подскажут причину.

Таблица 8.3

Что видно	Что, скорее всего, случилось
На свету заряд не растёт, ток панелей около нуля	панели не смотрят на Солнце: сбой слежения или ориентации
Ток панелей обычный, а заряд падает быстрее прежнего	включён лишний потребитель – что-то забыли выключить
Заряд стоит на 100 %, хотя на свету	аккумулятор полон, лишнее просто некуда запасти – не поломка
Данные пропали, потом пришли с «нулевым» временем	бортовой компьютер перезагрузился (например, от нехватки энергии)

На графике выше на третьем витке (180–240 мин) ток панелей упал почти до нуля, а заряд на свету падает так же, как в тени. Значит, панели не повернулись к Солнцу. На четвёртом витке слежение снова работает.

Длинный **лог** – запись телеметрии строчка за строчкой – удобно проверять программой. Вот телеметрия того же спутника раз в 30 минут и программа на Python, которая ищет, где на свету заряд падает:

```
# минута, свет (True) или тень (False) до следующей записи, заряд в %
log = [(0, True, 60), (30, True, 70), (60, False, 80),
       (90, True, 65), (120, True, 75), (150, False, 85),
       (180, True, 70), (210, True, 55), (240, False, 40),
       (270, True, 25), (300, True, 35), (330, False, 45), (360, False, 30)]

for i in range(len(log) - 1):
    t, svet, z = log[i]
    z_next = log[i + 1][2]
    if svet and z_next < z:
        print("с минуты", t, "на свету заряд падает!")
```

`log` – список записей, каждая из трёх чисел в скобках. Цикл `for` перебирает записи по номерам `i`, кроме последней, и сравнивает заряд `z` с зарядом в следующей записи `z_next`. Программа напечатает две строки: «с минуты 180 ...» и «с минуты 210 ...» – как раз третий виток.

Запомни. Одно измерение показывает, **когда** сломалось, а соседнее в тот же момент – **что**. Ток панелей пропал на свету – спутник отвернулся от Солнца; ток в порядке, а заряд тает быстрее прежнего – кто-то забыл выключиться.

8.10. Разбираем задачи

Задача 8.1 Панель на грани пикоспутника

разминка · солнечная постоянная, КПД, перевод см в м

На грани учебного пикоспутника наклеена солнечная панель 8×10 см с КПД 20 %. Спутник на орбите у Земли, панель смотрит прямо на Солнце. Какую электрическую мощность она даёт? Солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2 . Ответ – в ваттах, округли до десятых.

Дано: панель 8×10 см; $\eta = 20 \% = 0,2$; $S = 1361 \text{ Вт/м}^2$; $k = 1$ (прямо на Солнце).

Найти: P – ?

Решение

Шаг 1. Что происходит. Свет падает на панель, часть его (20 %) превращается в электричество. Нужна формула $P = S \cdot A \cdot \eta$.

Шаг 2. Площадь в м^2 . $8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$, $10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$. $A = 0,08 \cdot 0,1 = 0,008 \text{ м}^2$.

Шаг 3. Сколько света падает. $1361 \cdot 0,008 = 10,888 \text{ Вт}$.

Шаг 4. Сколько становится электричеством. $10,888 \cdot 0,2 = 2,1776 \approx 2,2 \text{ Вт}$.

Похоже на правду? Зарядка телефона даёт 5–20 Вт, а тут панель меньше тетрадного листа – пара ватт звучит честно. Маленькому пикоспутнику этого хватает.



Типичная ошибка. Подставить площадь в квадратных сантиметрах:

$1361 \cdot 80 \cdot 0,2 = 21\,776 \text{ Вт}$ – двадцать киловатт от кусочка меньше открытки. А бывает, умножают на 20 вместо 0,2.

Ответ: 2,2 Вт.

Своя задача по программе сферы, модуль 6

Реши сам

8.1. Солнечная панель 15×20 см с КПД 20 % смотрит прямо на Солнце (на орбите у Земли, солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2). Какую мощность она даёт? Ответ – в ваттах, округли до десятых.

8.2. Панель 20×25 см с КПД 30 % отвёрнута от Солнца: угол между лучами и перпендикуляром к панели – 60° (доля света – по таблице из раздела 8.2). Солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2 . Какую мощность даёт панель? Ответ – в ваттах, округли до десятых.

8.3.* Панель 10×10 см с КПД 25 % закреплена на корпусе неподвижно, и лучи падают на неё под углом 40° к перпендикуляру – такого угла в таблице раздела 8.2 нет. Долю света k найди построением, как в совете из того же раздела: панель – отрезок 100 мм под углом 40° к вертикали, измерь её «ширину для Солнца». На сколько ватт больше дала бы та же панель на поворотном устройстве, которое держит её прямо к Солнцу? Солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2 . Ответ округли до десятых.

Для любопытных. Отношение «ширины для Солнца» к длине панели в математике называют **косинусом** угла и пишут $\cos$; в школе его проходят в 8–9 классе. На инженерном калькуляторе (в режиме градусов, значок DEG) набери 40 и нажми $\cos$ – получишь то же число, что и на построении, только без погрешности линейки. Проверь режим на 60° : должно выйти ровно 0,5, как в таблице.

Задача 8.2 Сколько панелей на крыльях

солнечная постоянная, КПД, энергобаланс, округление вверх, чётность

Спутник связи летит по низкой орбите: половину каждого витка на свету, половину в тени Земли. Бортовые системы всё время – и на свету, и в тени – потребляют 1,8 кВт. На свету солнечные панели питают системы и за то же время заряжают аккумулятор так, чтобы его хватило на всю тень. Панели одинаковые, 60×100 см, КПД 30 %, система ориентации всегда держит их прямо к Солнцу. Панели стоят на двух одинаковых «крыльях», поэтому их число чётное. Потерями при заряде пренебречь. Солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2 . Какое наименьшее число панелей нужно?

Дано: $P_{\text{сист}} = 1,8 \text{ кВт}$; свет = тень; панель 60×100 см; $\eta = 0,3$; $k = 1$; число панелей чётное.

Найти: наименьшее число панелей N – ?

Решение

Шаг 1. Что происходит. На свету панели делают две работы сразу: кормят системы (1,8 кВт) и запасают энергию на тень. Тень длится столько же, сколько свет, и в тени системы берут те же 1,8 кВт. Значит, на свету в аккумулятор тоже нужно каждую секунду отправлять 1,8 кВт.

Шаг 2. Нужная мощность панелей. $1,8 + 1,8 = 3,6 \text{ кВт} = 3600 \text{ Вт}$.

Шаг 3. Мощность одной панели. $60 \text{ см} = 0,6 \text{ м}$, $100 \text{ см} = 1 \text{ м}$, $A = 0,6 \cdot 1 = 0,6 \text{ м}^2$.

$P_1 = 1361 \cdot 0,6 \cdot 0,3 = 244,98 \text{ Вт}$.

Шаг 4. Сколько панелей. $3600/244,98 \approx 14,7$. Нужно, чтобы хватило, – округляем вверх: 15.

Шаг 5. Чётность. 15 на два одинаковых крыла не разделить, берём следующее чётное: 16 (по 8 на крыло).

Проверка. 16 панелей дают $16 \cdot 244,98 \approx 3920 \text{ Вт}$ – не меньше 3600. 14 панелей дали бы около 3430 Вт – мало.

Прикинь размер: 16 панелей по $0,6 \text{ м}^2$ – почти 10 м^2 , два крыла размером с комнату. Для большого спутника связи – обычное дело.

 **Частая ошибка** – забыть про заряд аккумулятора и посчитать панели только на 1,8 кВт: $1800/244,98 \approx 7,3 \rightarrow 8$ панелей. Такой спутник на свету проживёт, но аккумулятор почти не зарядится, и в тени системы быстро останутся без питания. А кто-то доходит до 15 и забывает, что крыльев два.

Ответ: 16 панелей.

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Проектируем солнечные панели»

Реши сам

8.4. Учебный спутник всё время потребляет 1,2 Вт. Виток – 90 минут: 60 на свету, 30 в тени. Панель с КПД 20 % на поворотном устройстве всегда смотрит прямо на Солнце (солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2). Какой наименьшей площади должна быть панель, чтобы баланс витка не был минусовым? Потерями пренебречь. Ответ – в см^2 , округли до целых в нужную сторону.

8.5. Спутник облетает Землю за 90 минут: 60 минут на свету, 30 – в тени. Бортовые системы всё время берут 600 Вт. На свету панели питают системы и заряжают аккумулятор на всю тень, потерями пренебречь. Панели одинаковые, $50 \times 80 \text{ см}$, КПД 28 %, всегда смотрят прямо на Солнце. Они стоят на четырёх одинаковых крыльях, поэтому их число делится на 4. Солнечная постоянная – 1361 Вт/м^2 . Какое наименьшее число панелей нужно?

Задача 8.3 Батарея для того же спутника

аккумуляторы, последовательное и параллельное соединение, мощность, округление вверх

Продолжаем с тем же спутником связи. Виток длится 96 минут, половину витка спутник в тени, и все системы (1,8 кВт) питаются от аккумуляторной батареи. Напряжение бортовой сети – 27 В, небольшое превышение допустимо. Батарею собирают из литий-ионных элемен-

тов: 3,6 В и 8 А·ч каждый. Элементы соединяют в последовательные цепочки до нужного напряжения, а цепочки – параллельно до нужной ёмкости. Сколько элементов нужно?

Дано: $P = 1800$ Вт; тень – половина от 96 мин; $U = 27$ В; элемент – 3,6 В, 8 А·ч.

Найти: число элементов – ?

Решение

Шаг 1. Элементов в цепочке. $27/3,6 = 7,5$. Семь элементов дадут только $7 \cdot 3,6 = 25,2$ В – меньше 27, системы не заработают. Берём 8: $8 \cdot 3,6 = 28,8$ В – небольшое превышение, это можно.

Шаг 2. Время в тени. $96/2 = 48$ мин = $48/60 = 0,8$ ч.

Шаг 3. Ток систем. $I = P/U = 1800/27 \approx 66,7$ А.

Шаг 4. Нужная ёмкость. $66,7 \cdot 0,8 \approx 53,3$ А·ч.

Шаг 5. Цепочек. Каждая цепочка – 8 А·ч (при последовательном соединении ёмкость как у одного элемента). $53,3/8 \approx 6,67 \rightarrow$ вверх, 7 цепочек.

Шаг 6. Всего. $8 \cdot 7 = 56$ элементов.

Проверка через энергию. В тени нужно $1800 \cdot 0,8 = 1440$ Вт·ч. Цепочка хранит $8 \cdot 3,6 \cdot 8 = 230,4$ Вт·ч, семь цепочек – 1612,8 Вт·ч, хватает. Шесть (1382,4 Вт·ч) – не хватило бы.

Проверить себя можно кодом:

```
from math import ceil

p, u_bus, t_ten = 1800, 27, 48 / 60      # Вт, В, ч
u_el, q_el = 3.6, 8                     # В, А·ч

v_цепочке = ceil(u_bus / u_el)           # элементов в цепочке
серочек = ceil(p / u_bus * t_ten / q_el)
print(v_цепочке, серочек, v_цепочке * серочек)  # 8 7 56
```

1440 Вт·ч – примерно как аккумуляторы двух десятков ноутбуков. Много? Но спутник почти час в тени питает системы на 1800 ватт – меньшей батареей тут не обойтись.

⚠ Где ошибаются. Округляют 7,5 вниз, до 7 элементов в цепочке, – а 25,2 В меньше нужных 27. Или подставляют 48 минут вместо 0,8 часа и получают в 60 раз больше цепочек.

Ответ: 56 элементов (7 параллельных цепочек по 8 последовательно).

По мотивам задачи отборочного этапа НТО Junior 2021/22 «Проектируем аккумуляторы спутника»

Реши сам

8.6. Бортовые системы спутника потребляют 1,2 кВт при напряжении 24 В (небольшое превышение допустимо). В тени спутник летит 40 минут и всё это время питается от батареи. Батарею собирают из элементов 3,7 В и 5 А·ч: последовательные цепочки до нужного напряжения, а цепочки – параллельно до нужной ёмкости. Сколько элементов нужно?

8.7. Системам небольшого спутника нужно 14 В и 70 Вт (небольшое превышение напряжения допустимо), тень длится 30 минут. Батарею собирают из элементов 3,6 В и 3 А·ч: последовательные цепочки до нужного напряжения, а цепочки – параллельно до нужной ёмкости. Чтобы батарея дольше прожила, её разряжают не больше чем на 40 %. Сколько элементов нужно?

Задача 8.4 Ионистор в тени

ионистор, энергия конденсатора, время работы

На стенде лампа-«Солнце» выключается на 5 минут – это тень. Учебный пикоспутник питается от ионистора ёмкостью 20 Ф, заряженного до 5 В. Бортовой компьютер работает, пока напряжение не ниже 3 В, а все системы вместе берут 0,4 Вт. Сколько секунд спутник проработает от ионистора? Хватит ли этого на тень?

Дано: $C = 20$ Ф; $U_1 = 5$ В; $U_2 = 3$ В; $P = 0,4$ Вт; тень 5 мин.

Найти: t – ?, хватит ли на тень.

Решение

Шаг 1. Что происходит. Ионистор отдаёт энергию, напряжение на нём падает. Когда оно дойдёт до 3 В, компьютер выключится. Нужна энергия между 5 В и 3 В.

Шаг 2. Энергия в начале. $E_1 = 20 \cdot 5 \cdot 5/2 = 250$ Дж.

Шаг 3. Энергия, которая останется при 3 В. $E_2 = 20 \cdot 3 \cdot 3/2 = 90$ Дж.

Шаг 4. Полезная энергия. $250 - 90 = 160$ Дж.

Шаг 5. Время работы. $t = 160/0,4 = 400$ с = 6 мин 40 с.

Шаг 6. Сравним с тенью. 5 мин = 300 с. $400 > 300$ – хватит, запас 100 с.

Несколько минут – обычный срок для ионистора. А на настоящей орбите с тенью по 30 минут (1800 с) его не хватило бы и близко.

❗ Ловушка. Взять всю энергию, 250 Дж, и получить 625 с – как будто компьютер работает до нуля вольт. Или сначала вычесть напряжения: $20 \cdot (5 - 3)^2/2 = 40$ Дж и всего 100 с, вчетверо меньше верного.

Ответ: 400 с (6 мин 40 с); на пятиминутную тень хватит.

Своя задача по программе сферы, модуль 6

Реши сам

8.8. Ионистор ёмкостью 5 Ф заряжен до 4 В. Сколько энергии в нём запасено? Ответ – в джоулях.

8.9. Ионистор ёмкостью 25 Ф заряжен до 4,5 В. Бортовой компьютер работает, пока напряжение не ниже 2,5 В. Системы берут 0,5 Вт. Сколько секунд спутник проработает от ионистора?

Задача 8.5 Сколько снимков успеем передать

биты и байты, скорость передачи, сеанс связи, округление вниз

Камера пикоспутника делает чёрно-белые снимки 320×240 точек, каждая точка – 1 байт. Радиосвязь с ЦУП идёт со скоростью 9600 бит/с. Сеанс связи длится 8 минут, из них первые 50 секунд уходят на установку связи и передачу телеметрии. Сколько снимков целиком успеет уйти на Землю за этот сеанс?

Дано: снимок 320×240 точек, 1 байт на точку; $v = 9600$ бит/с; сеанс 8 мин; служебные 50 с.

Найти: число целых снимков – ?

Решение

Шаг 1. Размер снимка в байтах. $320 \cdot 240 = 76\,800$ байт.

Шаг 2. В битах. $76\,800 \cdot 8 = 614\,400$ бит.

Шаг 3. Время на один снимок. $614\,400 / 9600 = 64$ с.

Шаг 4. Время на снимки. 8 мин = 480 с. $480 - 50 = 430$ с.

Шаг 5. Сколько снимков. $430 / 64 \approx 6,7$. Седьмой снимок оборвётся на середине, а половина снимка бесполезна – округляем **вниз**: 6.

Проверка. 6 снимков – $6 \cdot 64 = 384$ с, влезает в 430. Семь – 448 с, не влезает.

Минута на снимок – медленно: даже домашний интернет через модем в 1990-е был быстрее. Но у маленького спутника и передатчик маленький.

❗ **Чаше всего** забывают перевести байты в биты: $76\,800 / 9600 = 8$ с на снимок и 53 снимка. Реже – не вычитают служебные 50 секунд (выйдет $480 / 64 = 7,5 \rightarrow 7$) или округляют 6,7 вверх.

Ответ: 6 снимков.

Своя задача по программе сферы, модуль 6

Реши сам

8.10. Спутник передаёт сообщение размером 1500 байт со скоростью 1200 бит/с. Сколько секунд займёт передача?

8.11. Сеанс связи длится 6 минут, скорость радиоканала – 4800 бит/с. Этот радиомодуль добавляет к каждому байту два служебных бита, так что на один байт уходит 10 бит. Сколько снимков по 20 000 байт успеет уйти на Землю целиком?

8.12. Выбери все верные утверждения.

- **А.** ИК-связь работает, только если между передатчиком и приёмником нет преград.
- **Б.** Радиосигнал проходит сквозь облака, поэтому ЦУП может говорить со спутником и в пасмурную погоду.
- **В.** Инфракрасный свет хорошо виден глазом как тёмно-красный.
- **Г.** Спутник на низкой орбите может передавать данные в ЦУП в любой момент витка.
- **Д.** Чем больше скорость передачи в бит/с, тем дольше передаётся один и тот же снимок.

Задача 8.6 Хватит ли энергии на виток

циклограмма, энергобаланс витка, ватт-минуты

Учебный пикоспутник облетает Землю за 90 минут: 60 минут на свету, 30 – в тени. Панели с поворотным устройством дают на свету 2 Вт. Циклограмма одного витка:

Таблица 8.4

Режим	Мощность	Когда	Сколько минут
Бортовой компьютер и датчики	0,5 Вт	весь виток	90
Съёмка камерой	1,5 Вт	на свету	10
Поворот панелей (мотор)	1 Вт	на свету	6
Сеанс радиосвязи	3 Вт	в тени	8

а) Хватит ли энергии панелей на весь виток? Сколько ватт-часов останется в запасе (или не хватит)? б) Сколько ватт-часов аккумулятор отдаёт в тени? Хватит ли его, если из него можно брать 1 Вт·ч?

Дано: виток 90 мин (свет 60, тень 30); панели 2 Вт на свету; режимы – в таблице; из аккумулятора можно взять 1 Вт·ч.

Найти: баланс витка (Вт·ч); энергию в тени (Вт·ч).

Решение

Шаг 1. Что приходит. Панели: $2 \cdot 60 = 120$ Вт·мин.

Шаг 2. Энергия каждого режима. Мощность · минуты:

- бортовой компьютер: $0,5 \cdot 90 = 45$ Вт·мин;
- камера: $1,5 \cdot 10 = 15$ Вт·мин;
- мотор: $1 \cdot 6 = 6$ Вт·мин;
- радио: $3 \cdot 8 = 24$ Вт·мин.

Всего $45 + 15 + 6 + 24 = 90$ Вт·мин.

Шаг 3. Баланс. $120 - 90 = 30$ Вт·мин $= 30/60 = 0,5$ Вт·ч. Плюс – энергии хватает.

Шаг 4. Тень. В тени работают бортовой компьютер ($0,5 \cdot 30 = 15$ Вт·мин) и радио (24 Вт·мин): 39 Вт·мин $= 39/60 = 0,65$ Вт·ч. Это меньше 1 Вт·ч – аккумулятор выдержит.

За весь виток спутник тратит 1,5 Вт·ч – примерно десятую часть заряда аккумулятора смартфона. Для пикоспутника с панелями на пару ватт – в самый раз. Заметь: если на свету камера и мотор работают одновременно, в эти минуты нужно больше 2 Вт, и недостающее ненадолго добирается из аккумулятора. Итог витка от этого не меняется.

 **Типичная ошибка.** Посчитать бортовой компьютер только за 60 минут света: он работает весь виток, 90 минут. И не забудь разделить на 60: ответ «90 Вт·ч» завышен в 60 раз.

Ответ: а) хватит, в запасе 0,5 Вт·ч за виток; б) в тени нужно 0,65 Вт·ч – аккумулятора хватит.

Своя задача по программе сферы, модуль 6

Реши сам

8.13. Испытание на стенде идёт в «тени», всё питание – от ионистора 10 Ф, заряженного до 5 В; компьютер работает до 3 В. Циклограмма: бортовой компьютер 0,2 Вт – 240 с; ИК-передача 0,3 Вт – 30 с; радио 1 Вт – 20 с; мотор поворота 0,5 Вт – 10 с. Сколько джоулей нужно на всю циклограмму? Хватит ли ионистора?

8.14.* За виток (90 минут) панели дают спутнику 150 Вт·мин. Бортовой компьютер берёт 0,5 Вт весь виток. Один снимок – это 2 минуты работы камеры мощностью 2 Вт. Раз за виток бывает сеанс связи: радиопередатчик берёт 3 Вт, первые 2 минуты уходят на служебные данные, а потом каждый снимок передаётся ровно минуту. Сеанс длится не больше 10 минут – потом спутник уходит за горизонт. Тратить за виток больше, чем дали панели, нельзя. Какое наибольшее число снимков спутник может сделать и передать за один виток?

Задача 8.7* Что пошло не так

телеметрия, ионистор, мощность по графику, циклограмма

На стенде проверяют, как пикоспутник переживает тень. Он питается от ионистора ёмкостью 10 Ф, в начале заряженного до 5,00 В. Бортовой компьютер работает, пока напряжение не ниже 3,00 В. По циклограмме в тени работают:

- бортовой компьютер и датчики – 0,25 Вт, всё время;
- радиопередатчик – 0,5 Вт, с 80-й по 120-ю секунду.

Телеметрия (напряжение ионистора раз в 20 секунд) показана на графике и в таблице. На 160-й секунде связь пропала.

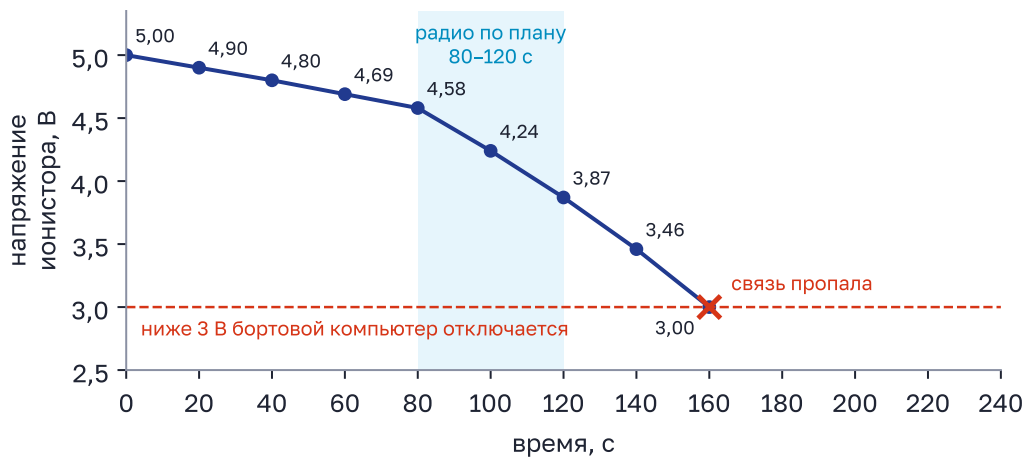


Рисунок 8.16 – Телеметрия ионистора во время испытания

Таблица 8.5

Время, с	Напряжение, В
0	5,00
20	4,90
40	4,80
60	4,69
80	4,58
100	4,24
120	3,87
140	3,46
160	3,00

- а) На какой секунде спутник должен был отключиться, если бы всё шло по циклограмме?
 б) Что случилось? Выбери один вариант.

- **А.** Ионистор перед испытанием был заряжен не полностью.
- **Б.** Радиопередатчик не выключился на 120-й секунде.
- **В.** Радиопередатчик включился раньше, на 60-й секунде.
- **Г.** На 120-й секунде вдобавок к радио включился мотор поворота мощностью 1 Вт.

Дано: $C = 10 \text{ Ф}$; $U_{\text{нач}} = 5,00 \text{ В}$; $U_{\text{min}} = 3,00 \text{ В}$; компьютер 0,25 Вт; радио 0,5 Вт с 80 по 120 с; таблица телеметрии.

Найти: время отключения по плану; причину сбоя.

Решение

Шаг 1. Энергия по плану. В начале $10 \cdot 5 \cdot 5/2 = 125 \text{ Дж}$, при 3 В останется $10 \cdot 3 \cdot 3/2 = 45 \text{ Дж}$. Полезно $125 - 45 = 80 \text{ Дж}$.

Шаг 2. Расход по плану. 0–80 с: только компьютер, $0,25 \cdot 80 = 20 \text{ Дж}$. 80–120 с: компьютер и радио, $(0,25 + 0,5) \cdot 40 = 30 \text{ Дж}$. К 120-й секунде ушло 50 Дж, осталось $80 - 50 = 30 \text{ Дж}$.

Шаг 3. Когда отключение по плану. После 120 с снова только компьютер: $30/0,25 = 120$ с. Отключение на $120 + 120 = 240$ -й секунде. Это ответ на вопрос а).

Шаг 4. Что говорит телеметрия. Переведём напряжения в энергию: $E = 10 \cdot U^2 / 2 = 5 \cdot U^2$.

Таблица 8.6

Время, с	Напряжение, В	Энергия, Дж
0	5,00	125
20	4,90	120,1
40	4,80	115,2
60	4,69	110,0
80	4,58	104,9
100	4,24	89,9
120	3,87	74,9
140	3,46	59,9
160	3,00	45,0

До 80-й секунды каждые 20 секунд уходит около 5 Дж: $5/20 = 0,25$ Вт – как по плану. С 80-й по 120-ю – около 15 Дж за 20 с, то есть 0,75 Вт: компьютер плюс радио, тоже по плану. А с 120-й по 160-ю по-прежнему около 15 Дж за 20 с – 0,75 Вт, хотя должно было стать 0,25 Вт.

Шаг 5. Выбираем вариант. После 120 с лишние $0,75 - 0,25 = 0,5$ Вт – столько и берёт радиопередатчик. Значит, он не выключился: вариант **Б**. Остальные не подходят. При **А** в начале было бы меньше 5,00 В. При **В** расход вырос бы уже с 60-й секунды, а на отрезке 60–80 с он обычный. При **Г** после 120 с расход был бы $0,25 + 0,5 + 1 = 1,75$ Вт, а не 0,75.

Считать вручную долго – отрезки пересчитает программа:

```

C = 10                                     # Φ
t = [0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160] # с
u = [5.00, 4.90, 4.80, 4.69, 4.58, 4.24, 3.87, 3.46, 3.00] # В

for i in range(1, len(t)):
    e1 = C * u[i-1]**2 / 2                # энергия в начале отрезка, Дж
    e2 = C * u[i]**2 / 2                  # энергия в конце отрезка, Дж
    p = (e1 - e2) / (t[i] - t[i-1])        # мощность = энергия / время
    print(t[i-1], "-", t[i], "с:", round(p, 2), "Вт")

```

Программа напечатает около 0,25 Вт для первых четырёх отрезков и около 0,75 Вт для последних четырёх ($**2$ в Python – это возведение в квадрат).

Цена сбоя. Спутник замолчал на 160-й секунде вместо 240-й – на 80 секунд раньше. Одна забытая строка `digitalWrite(..., LOW)` в программе – и треть тени без связи.

❗ **Самая соблазнительная ошибка** – смотреть только на то, как круто падает линия, и решить, что сбой начался на 80-й секунде. Но с 80-й секунды радио включилось по плану. Сбой – то, что отличается от **циклограммы**, поэтому сначала посчитай, как должно быть, и только потом сравнивай с телеметрией. И не считай мощность по разнице напряжений ($5,00 - 4,90 = 0,1$ В): энергия зависит от квадрата напряжения.

Ответ: а) на 240-й секунде; б) **Б** – радиопередатчик не выключился на 120-й секунде (спутник замолчал на 80 с раньше плана).

Своя задача по программе сферы, модуль 6

Реши сам

8.15. Телеметрия учебного спутника (виток 90 минут: 60 на свету, 30 в тени):

Таблица 8.7

Минута	Где спутник (до следующей записи)	Ток панелей, мА	Заряд, %
0	свет	500	60
15	свет	500	65
30	свет	500	70
45	свет	500	75
60	тень	0	80
75	тень	0	72
90	свет	500	64
105	свет	500	69
120	свет	500	74
135	свет	500	79
150	тень	0	84
165	тень	0	68
180	–	0	52

Что пошло не так? Выбери один вариант и скажи, с какой минуты.

- **А.** Панели перестали давать ток на свету.
- **Б.** Включился лишний потребитель.
- **В.** Аккумулятор перестал заряжаться.
- **Г.** Всё идёт по плану.

8.16.* Ещё одно испытание на стенде. В «тени» пикоспутник питается от ионистора ёмкостью 20 Ф, в начале заряженного до 5,00 В. Бортовой компьютер работает, пока напряжение не ниже 3,00 В. По циклограмме бортовой компьютер и датчики берут 0,4 Вт всё время, а радио-передатчик – ещё 0,8 Вт с 100-й по 150-ю секунду. Телеметрия ионистора раз в 50 секунд:

Таблица 8.8

Время, с	Напряжение, В
0	5,00
50	4,80
100	4,12
150	3,32
200	3,00

На 200-й секунде связь пропала.

а) На какой секунде спутник должен был отключиться, если бы всё шло по циклограмме?

б) Что случилось? Выбери один вариант.

- **А.** Ионистор перед испытанием был заряжен не полностью.
- **Б.** Радиопередатчик не выключился на 150-й секунде.
- **В.** Радиопередатчик включился раньше, на 50-й секунде.
- **Г.** Бортовой компьютер всё испытание брал больше 0,4 Вт.

8.17. Программа слежения за Солнцем из раздела 8.3 (порог 30) прочитала с датчиков: а) $\angle = 520$, $r = 600$; б) $\angle = 640$, $r = 610$. Какая ножка получит HIGH в каждом случае и куда повернётся панель?

Ответы и решения

Сначала реши задачу сам и только потом сверяйся. Не сошлось – найди в решении шаг, на котором твой путь разошёлся с нашим.

К главе 1. Космос и космонавтика: что нужно знать

1.1. Ответ: Сатурн.

Подсказка: считай по фразе «Мы Все Знаем: Моя Юная Сестра Умеет Нырять» – шестое слово на «С».

1.2. Ответ: Меркурий и Венера.

1.3. Ответ: А, Б, Д, Е.

Подсказка: слова «только» (В) и «самая далёкая» (Ж) проверь по таблице и «визиткам» раздела 1.1.

1.4. Ответ: в 11 раз.

Подсказка: здесь не упорядочить, а разделить: $142\,984 : 12\,756 \approx 11,2$, округли до целых.

1.5. Ответ: В, А, Б, Г, Д, Е.

Подсказка: две пары почти равны – Уран и Нептун, Земля и Венера; сравни числа, а не впечатление.

1.6. Ответ: А, Б, Г, Е.

Подсказка: спутник обращается вокруг планеты, поэтому карликовой планетой быть не может; Веста не круглая – это астероид.

1.7. Ответ: А, Б, В.

1.8. Ответ: А, В, Г.

1.9. Ответ: 1 – Титан, Энцелад; 2 – Луна; 3 – Луна, Ио, Европа, Титан; 4 – Ио; 5 – Титан; 6 – Ио, Европа.

Подсказка: в строке 3 сравни диаметры с 3 000 км; вулканы Энцелада – «холодные» струи пара и льда, лавы там нет.

1.10. Ответ: А, В, Д.

Подсказка: пункт Б – про массу, а не про диаметр: 330 больше 148, значит, Меркурий тяжелее Ганимеда.

1.11. Ответ: 1 – Г, 2 – Е, 3 – В, 4 – Д, 5 – А, 6 – Б.

1.12. Ответ: 1 – Г, 2 – Е, 3 – Б, 4 – Д, 5 – А, 6 – В.

1.13. Ответ: Б, Г, Е, А, Ж, Д, В.

Подсказка: выпиши год каждого события и расставь по возрастанию; опорные годы – в «Запомни» раздела 1.4.

1.14. Ответ: 1 – Д, 2 – Г, 3 – Б, 4 – Ж, 5 – Е, 6 – А, 7 – В.

Подсказка: корабль, который возит людей, и корабль, который возит грузы, – разные типы.

1.15. Ответ: А, Г, Б, В, Д.

Подсказка: здесь не сопоставить, а упорядочить: высоты – в таблице раздела 1.5, «Спектр-РГ» работает в 1,5 млн км от Земли.

1.16. Ответ: 1 – «Луна-16», «Венера-7»; 2 – «Луна-16», «Хаябуса-2»; 3 – «Венера-7»; 4 – «Гюйгенс»; 5 – «Вояджер-2»; 6 – ни одного.

Подсказка: Луна и Титан – спутники, Рюгу – астероид; посадка на них – не посадка на планету.

1.17. Ответ: 1 – «Луна-9», «Луна-16», «Луноход-1», «Аполлон-11»; 2 – «Луна-16», «Аполлон-11»; 3 – «Аполлон-11»; 4 – «Луна-9», «Луна-16», «Луноход-1», «Венера-7»; 5 – «Венера-7»; 6 – «Луноход-1»; 7 – ни одного. Порядок: «Луна-9», «Аполлон-11», «Луна-16», «Луноход-1», «Венера-7».

Подсказка: ставь по дате посадки, а не запуска: «Венеру-7» запустили раньше «Луны-16», а села она позже.

К главе 2. Сила, движение и невесомость

2.1. Ответ: 34,3 Н.

2.2. Ответ: 29,8 кг.

Подсказка: весы показывают не массу, а силу давления, делённую на 9,8; масса космонавта осталась 180 кг.

2.3. Ответ: 12,5 м/с².

2.4. Ответ: 1764 Н.

2.5. Ответ: 40 кг.

Подсказка: ускорение направлено вниз – давишь на опору слабее: $P = m \cdot (g - a)$, затем раздели силу на 9,8.

2.6. Ответ: 20 с.

2.7. Ответ: 122,5 м/с.

Подсказка: задача «наоборот»: на подъём уходит половина невесомости, 12,5 с, и за это время вертикальная скорость падает до нуля.

2.8. Ответ: 1,4 с.

Подсказка: путь равен средней скорости, умноженной на время, поэтому $t \cdot t = 2h/g_{\text{л}}$.

2.9. Ответ: Б.

2.10. Ответ: В.

Подсказка: сопротивление всегда против скорости шара: на подъёме оно тормозит шар вниз, на спуске – вверх; в верхней точке человек ни к чему не прижат.

2.11. Ответ: Б.

2.12. Ответ: Б.

Подсказка: сопло смотрит вперёд – кабина ускоряется назад, а шарик плывёт в сторону ускорения кабины.

2.13. Ответ: 0,3 м/с.

Подсказка: по третьему закону $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$; космонавт плывёт в сторону, противоположную ящику.

2.14. Ответ: 5857 Н; 75 %.

2.15. Ответ: Б.

2.16. Ответ: 150 с.

Подсказка: километры делим на км/с – получаются секунды, переводить единицы не нужно.

К главе 3. Инженерная математика: единицы, объёмы, проценты

3.1. Ответ: 350 л.

3.2. Ответ: 162 г.

Подсказка: плотность алюминия в г/см³, поэтому толщину переведи в сантиметры: 3 мм = 0,3 см.

3.3. Ответ: на 25 %.

Подсказка: процент считаем от значения «до» увеличения – теперь это 320 Вт, а не 400 Вт.

3.4. Ответ: 144 кг, это на 4 % меньше исходных 150 кг.

Подсказка: второй раз 20 % считаются уже от 180 кг, поэтому к 150 кг масса не вернётся.

3.5. Ответ: 5,8 т.

Подсказка: цепочка здесь обратная: диаметр → объём шара → литры → масса.

3.6. Ответ: 2,0 м.

3.7. Ответ: 19,9 л.

Подсказка: два полушария вместе – целый шар; считай в сантиметрах, а 1 л = 1000 см³.

3.8. Ответ: 11,0 м³.

3.9. Ответ: 57 т.

Подсказка: по Архимеду цилиндр высотой D вмещает в 1,5 раза больше шара, значит, $h = D$ и $H = 2D$.

3.10. Ответ: 11,6 сут.

3.11. Ответ: 86 л.

3.12. Ответ: 49 пластин.

Подсказка: спрашивают, сколько целых пластин получится, – здесь округляем вниз.

3.13. Ответ: 72 %.

Подсказка: спрашивают про работающие панели, а не про сломанные.

3.14. Ответ: 216 ($N = 24$, $K = 9$).

3.15. Ответ: 40 мин.

Подсказка: заряд уже 50 % – считай время только на оставшиеся 50 %, а скорость – по тем 30 %, что набрались за 24 мин.

3.16. Ответ: 178 мин.

К главе 4. Орбиты: как летают спутники

4.1. Ответ: 96 мин.

4.2. Ответ: 11 ч 15 мин.

Подсказка: секунды переведи в часы (раздели на 3600), а дробную часть часа – в минуты (умножь на 60).

4.3. Ответ: Б.

4.4. Ответ: Б.

Подсказка: спутник над экватором – для Новосибирска это к югу; для нас он неподвижен, поворачивать тарелку не нужно.

4.5. Ответ: 16 витков.

4.6. Ответ: 25°.

4.7. Ответ: до 65° с. ш.; над Мурманском – нет.

4.8. Ответ: А, В.

4.9. Ответ: 11 мин.

Подсказка: здесь наоборот – период известен, ищем время: $t = T \cdot \theta / 360^\circ$.

4.10. Ответ: 98 мин.

4.11. Ответ: 15 мин.

Подсказка: разность долгот здесь больше 90° ($94,26^\circ$), но это не центральный угол – в «Компасе» выйдет $\theta \approx 57,7^\circ$.

4.12. Ответ: Г.

Подсказка: трасса проходит через Москву, значит, наклонение не меньше $55,75^\circ$ – из чисел подходит только 61° .

4.13. Ответ: 59° .

4.14. Ответ: 12 ч.

Подсказка: если на каждом витке половина времени в тени, то и сутки – ровно наполовину в тени.

4.15. Ответ: 69 мин.

Подсказка: один оборот ГСО длится почти сутки, поэтому тень за оборот – это и есть тень за сутки.

К главе 5. 3D-моделирование: объёмы и массы в Компас-3D

5.1. Ответ: 64,8 г.

5.2. Ответ: 155,7 г.

5.3. Ответ: 24,3 г.

5.4. Ответ: Б.

Подсказка: фигура должна прилегать к оси прямой стороной и не пересекать ось; представь, что получится, если её раскрутить.

5.5. Ответ: 26,0 г.

5.6. Ответ: в 4 раза.

Подсказка: ширина половины профиля – это радиус; объём цилиндра зависит от квадрата радиуса.

5.7. Ответ: 19,1 г.

5.8. Ответ: 21,0 г.

5.9. Ответ: 1–Б, 2–А, 3–В.

5.10. Ответ: 173 мм.

Подсказка: здесь спрашивают про верх колпачка, поэтому его высота 25 мм входит в ответ целиком.

5.11. Ответ: 2,69 кг.

5.12. Ответ: 146,6 л; габарит 1080 мм.

Подсказка: задача «наоборот»: известен корпус, а при шести баках радиус бака равен радиусу корпуса.

5.13. Ответ: 140,2 кг.

Подсказка: масса – это стенка плюс кислород; кислород заполняет только внутренность бака, считай его по внутреннему радиусу 297 мм.

5.14. Ответ: 8 баков, 113,1 л.

5.15. Ответ: а) 11 баков; б) 155,5 л.

К главе 6. Электроника: ток, напряжение, сопротивление

6.1. Ответ: 20 мА.

6.2. Ответ: 5 В.

Подсказка: здесь неизвестно напряжение – нужна форма $U = I \cdot R$; ток сначала переведи в амперы.

6.3. Ответ: 330 Ом.

6.4. Ответ: 390 Ом; ток 17,9 мА.

6.5. Ответ: 60 мВт.

Подсказка: сначала найди напряжение на резисторе по закону Ома, потом мощность $P = U \cdot I$.

6.6. Ответ: 1020 Ом.

6.7. Ответ: 1,2 кОм.

Подсказка: параллельно: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$; ответ должен быть меньше 2 кОм.

6.8. Ответ: В.

Подсказка: у амперметра внутри почти нулевое сопротивление – посмотри, какой путь от «+» до «-» останется без нагрузки.

6.9. Ответ: 1,63 В.

6.10. Ответ: 307.

Подсказка: потенциометр – тот же делитель: снизу 3 кОм, сверху 7 кОм.

6.11. Ответ: 3,00 В.

Подсказка: это обратный путь: $U = N \cdot 5/1023$.

6.12. Ответ: 14,1 с.

6.13. Ответ: 10 кОм.

Подсказка: иди назад: 95 % – это 3τ , значит $\tau = 1$ с, а $R = \tau / C$ (ёмкость в фарадах).

6.14. Ответ: кнопка В (А даёт около 327, В – около 614, без нажатия – 1023).

Подсказка: посчитай число для каждого состояния и выбери ближайшее к 610.

6.15. Ответ: 267.

Подсказка: нажаты обе кнопки – их резисторы стоят параллельно и вместе становятся нижним резистором делителя.

6.16. Ответ: а) 6 В; б) 20 ч.

Подсказка: при последовательном соединении ёмкость не складывается – она как у одной батарейки.

6.17. Ответ: 18 батареек.

К главе 7. Программирование: Arduino и Python

7.1. Ответ: строку 5.

Подсказка: найди место, где обе ножки уже в LOW, а программа всё равно ждёт.

7.2. Ответ: 5 раз.

Подсказка: круг `loop()` длится 2 с – выпиши моменты включений: 0, 2, 4, ...

7.3. Ответ: а) В, А, Г, Б; б) 60 мс.

Подсказка: первой ставь функцию, которая никого не вызывает; один импульс – `d` мс света и `d` мс темноты.

7.4. Ответ: `send_dot()` – 4 раза, `send_dash()` – 3 раза, `delay()` – 3 раза.

7.5. Ответ: в верной функции – 1 раз, в изменённой – 3 раза.

Подсказка: с простым `else` паузу получает любой символ, кроме точки и тире, – и пробел, и буквы.

7.6. Ответ: 5, 3, 20.

Подсказка: оба числа целые – деление нацело; счётчик цикла шагает через два: 2, 4, 6, 8.

7.7. Ответ: 1, 1, 0, 0, 1.

7.8. Ответ: 100101.

7.9. Ответ: 22.

Подсказка: здесь перевод обратный – подпиши над битами веса 16, 8, 4, 2, 1 и сложи там, где стоят единицы.

7.10. Ответ: 58.

Подсказка: первый пришедший бит – младший, у него вес 1; не читай биты как обычную запись.

7.11. Ответ: назад, стоп, стоп, вперёд.

Подсказка: 592 отличается от 512 ровно на 80, а не «более чем на 80».

7.12. Ответ: а) 101; б) 99.

Подсказка: целых чисел от a до b включительно – $b - a + 1$; сначала найди границы мёртвой зоны.

7.13. Ответ: зелёный.

7.14. Ответ: красный с жёлтым – с 10 с светофор застрял в этом состоянии.

Подсказка: посмотри на рисунок: из состояния 1 теперь не выходит ни одна стрелка – это тупик.

7.15. Ответ: 4.

7.16. Ответ: 7,5 %.

Подсказка: процент считают от того, что было, – от 480, а не от 444.

7.17. Ответ: 13 121 .

Подсказка: 11 делит 1573 дважды; не забудь «хвост» – он тоже простой множитель.

7.18. Ответ: верная программа – 23 17 , без «хвоста» – 17 23 .

К главе 8. Пикоспутник: энергия, связь и циклограмма полёта

8.1. Ответ: 8,2 Вт.

8.2. Ответ: 10,2 Вт.

Подсказка: к формуле из разбора добавь долю света: при $60^\circ k = 0,5$.

8.3. Ответ: на 0,8 Вт.

Подсказка: спрашивают разницу, а не мощность под углом: теряется доля $1 - k$, где $k \approx 0,766$ (76–77 мм из 100 на построении).

8.4. Ответ: 67 см².

Подсказка: ищем площадь, а не число панелей: расход бери за весь виток (90 мин), а делить надо на 60 минут света; м² в см² – умножь на 10 000 и округли вверх.

8.5. Ответ: 8 панелей.

Подсказка: свет и тень здесь не поровну – за 60 минут света панели должны дать энергию на все 90 минут витка.

8.6. Ответ: 49 элементов.

8.7. Ответ: 12 элементов.

Подсказка: из батареи можно брать только 40 % – нужную ёмкость раздели на 0,4 (совет в разделе 8.4).

8.8. Ответ: 40 Дж.

8.9. Ответ: 350 с.

8.10. Ответ: 10 с.

8.11. Ответ: 8 снимков.

Подсказка: здесь на один байт уходит не 8, а 10 бит.

8.12. Ответ: А, Б.

Подсказка: это вопрос на теорию раздела 8.7: перечитай про сеанс связи и ИК-связь.

8.13. Ответ: нужно 82 Дж – ионистора не хватит (полезных в нём 80 Дж).

Подсказка: накопитель здесь – ионистор, поэтому считай в джоулях ($Вт \cdot с$) и бери энергию только от 5 В до 3 В.

8.14. Ответ: 8 снимков.

Подсказка: ограничений два – энергия и длина сеанса; посчитай, сколько снимков позволяет каждое, и выбери меньшее.

8.15. Ответ: Б – включился лишний потребитель, с 150-й минуты (тень второго витка).

Подсказка: сравни, на сколько процентов падает заряд за 15 минут тени на первом и на втором витке.

8.16. Ответ: а) на 300-й секунде; б) **В** – радиопередатчик включился на 50-й секунде.

8.17. Ответ: а) ножка 6 (`MOTOR_R`) – поворот вправо; б) ни одна – панель стоит.

Подсказка: в случае б) разница ровно 30, а программа поворачивает, только если разница **больше** порога.

Справочник

Всё, что может понадобиться под рукой во время решения: числа, которые используются в книге, перевод единиц, формулы фигур и все «Запомни» из глав на нескольких страницах.

Числа, которые используются в книге

Если в условии задачи на отборе дано другое значение, бери его из условия.

Таблица С.1

Величина	Значение
Ускорение свободного падения у поверхности Земли	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$
Радиус Земли	$R = 6371 \text{ км}$
Первая космическая скорость у поверхности Земли	около 7,9 км/с
МКС: высота / скорость / один виток	около 400–420 км / около 7,66 км/с / около 92 мин
Геостационарная орбита	35 786 км над экватором, один оборот за 23 ч 56 мин
Мощность солнечного света у Земли (солнечная постоянная)	1361 Вт на 1 м^2
Число π	3,14159... (кнопка π на калькуляторе)
Плотность воды	$1 \text{ г/см}^3 = 1 \text{ кг/л} = 1000 \text{ кг/м}^3$
Плотность жидкого кислорода / керосина	1,14 кг/л / 0,8 кг/л
Плотность алюминия / титана	2,7 г/см ³ / 4,5 г/см ³
Плотность пластика ABS / PLA	1,05 г/см ³ / 1,24 г/см ³
Arduino Uno: питание / значения analogRead	5 В / от 0 до 1023

Перевод единиц

Таблица С.2

Что	Как переводить
Длина	$1 \text{ км} = 1000 \text{ м} \cdot 1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм} \cdot 1 \text{ см} = 10 \text{ мм}$
Площадь	$1 \text{ м}^2 = 10\,000 \text{ см}^2 \cdot 1 \text{ см}^2 = 100 \text{ мм}^2$

Что	Как переводить
Объём	$1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л} \cdot 1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ см}^3 \cdot 1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$
Масса	$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} \cdot 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$
Время	$1 \text{ сут} = 24 \text{ ч} \cdot 1 \text{ ч} = 60 \text{ мин} = 3600 \text{ с} \cdot 1 \text{ с} = 1000 \text{ мс}$
Скорость	$1 \text{ км/с} = 1000 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ м/с} = 3,6 \text{ км/ч}$
Ток	$1 \text{ А} = 1000 \text{ мА}$
Сопротивление	$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}$
Ёмкость конденсатора	$1 \text{ мкФ} = 0,000\,001 \text{ Ф} \cdot 1 \text{ мФ} = 0,001 \text{ Ф}$
Ёмкость батареи	$1 \text{ А} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ мА} \cdot \text{ч}$
Энергия и мощность	$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 3600 \text{ Дж} \cdot 1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{ч}$

Совет. Чтобы перевести «квадратные» или «кубические» единицы, переводите каждую сторону отдельно. $1 \text{ м} = 100 \text{ см}$, значит $1 \text{ м}^2 = 100 \cdot 100 = 10\,000 \text{ см}^2$, а $1 \text{ м}^3 = 100 \cdot 100 \cdot 100 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$.

Формулы фигур

Таблица С.3

Фигура	Формула
Длина окружности радиуса r	$C = 2\pi r = \pi D$
Площадь круга	$S = \pi r^2$
Площадь прямоугольника	$S = a \cdot b$
Объём прямоугольного бруска	$V = a \cdot b \cdot c$
Объём цилиндра	$V = \pi r^2 h$
Объём конуса	$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$
Объём шара	$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi D^3}{6}$
Объём полушара	$V = \frac{2}{3} \pi r^3$
Площадь поверхности шара	$S = 4\pi r^2$
Объём стенки полого шара (наружный радиус R , внутренний r)	$V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$

Шпаргалка: всё «Запомни» из глав

Глава 1. Космос и космонавтика: что нужно знать

Запомни. Три «самых»: больше всех – Юпитер, меньше всех – Меркурий, горячее всех – Венера, хотя ближе всех к Солнцу не она. Первые четыре планеты – маленькие и каменные, последние четыре – гиганты, и кольца есть у каждого из них. Две первые планеты ходят без спутников.

Запомни. Хвост работает как указатель: продолжи его через голову кометы – и упрёшься в Солнце. Орбита замкнута – комета ещё прилетит, не замкнута – видим её в первый и последний раз. Метеор – вспышка в небе, метеорит – камень, который можно подержать в руках.

Запомни. Почти все «первые» уложились в 14 лет – с 1957 по 1971 год. Держи в голове опорные года: 1957 – спутник, 1961 – Гагарин, 1965 – Леонов, 1969 – люди на Луне, 1970 – сразу три «первых» (грунт, луноход, посадка на Венеру). Любую другую дату ставь относительно них.

Запомни. Тип аппарата выдаёт высота. Сотни километров – там снимают Землю и живут на станции. Около 19 тысяч – навигация. Почти 36 тысяч над экватором – связь и погода. Улетел от Земли насовсем – межпланетная станция. А разница между кораблём и станцией простая: корабль людей возит, на станции люди живут.

Глава 2. Сила, движение и невесомость

Запомни. Масса в килограммах от планеты не зависит. Сила – всегда в ньютонах: притяжение $F = m \cdot g$, у Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Вес – тоже сила, это давление на опору; убрали опору – вес пропал, а притяжение осталось. Весы показывают не массу, а вес, делённый на 9,8, – поэтому на Луне они «врут».

Запомни. «Метры в секунду» (м/с) – это про скорость, «метры в секунду за секунду» (м/с²) – про то, как быстро она меняется. Путь делим на время – получаем скорость. Прибавку скорости делим на время – получаем ускорение. Падающий камень каждую секунду прибавляет 9,8 м/с.

Запомни. Хочешь изменить скорость – нужна сила, и чем больше масса, тем больше силы: $a = F/m$. Толкнул – получил сдачи той же силой; после толчка лёгкий едет быстрее тяжёлого: $m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$. Ракета отталкивается от собственного газа, воздух ей не нужен. Воздух тормозит всё, что движется, – на Луне тормозить некому.

Запомни. Спросят «почему невесомость» – отвечай «потому что всё падает вместе», а не «потому что нет тяжести»: на МКС Земля тянет почти на 90 %. Воздух тормозит корпус, а человека внутри – нет: человека прижимает к передней стенке. В разгоняющейся кабине тяжёлое отстаёт к задней стенке, а гелиевый шарик уходит вперёд, туда, куда ускоряется кабина.

Запомни. Перегрузка – это «во сколько раз тяжелее, чем обычно». Ускорение вверх: $n = a/g + 1$, и единица здесь – та самая обычная тяжесть, без неё ответ неверный. Ускорение вниз: $n = 1 - a/g$. Свободное падение: $n = 0$.

Глава 3. Инженерная математика: единицы, объёмы, проценты

Запомни. Единица мельче – число больше. Объёмы шагают через тысячу: $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$, $1 \text{ л} = 1000 \text{ мл}$, $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$. В сутках 86 400 с, и время не десятичное: $0,5 \text{ ч} = 30 \text{ мин}$.

Запомни. Прежде чем умножать на плотность, посмотри, что у неё стоит после черты. Кг/л – объём нужен в литрах, г/см³ – в кубических сантиметрах.

Запомни. Почти все ошибки здесь – из-за радиуса и диаметра: радиус – половина. Конус – треть цилиндра, полушар – половина шара, шар – две трети цилиндра той же ширины и высоты. Шар вдвое шире – объём в 8 раз больше.

Запомни. Увидел «на сколько процентов» – сразу спроси себя: «от чего?». От того, что было **до**. Плюс $p \%$ – умножить на $(1 + p/100)$, минус $p \%$ – на $(1 - p/100)$.

Запомни. Спрашивают «сколько взять» – вверх. Спрашивают «сколько получится» – вниз. Ждал целое, а вышло 6,47 – ищи ошибку, а не округляй.

Запомни. Время = работа : скорость. Ожидание не бывает меньше нуля. Поменялись условия – пересчитай скорость.

Глава 4. Орбиты: как летают спутники

Запомни. К высоте прибавь 6371 км – получишь радиус орбиты. $T = 2\pi(R + h)/v$: километры делим на километры в секунду – выходят секунды. Витков в сутки – $1440/T$, где T в минутах.

Запомни. «Висеть» над одной точкой спутник может только над экватором, на высоте 35 786 км. Тарелку на такой спутник наводят один раз, из Новосибирска – на юг. Где приём лучше, решает луч антенны спутника, а не то, над кем он «ближе».

Запомни. $1^\circ = 60'$, поэтому $55^\circ 01' = 55,02^\circ$. Широта отсчитывается от экватора, долгота – от Гринвича. Трасса спутника с наклоном i не заходит дальше i с. ш. и i ю. ш.: у МКС граница – $51,6^\circ$, а Новосибирск на 55° .

Запомни. Спутник пролетел над двумя городами на одном витке: $t/T = \theta/360^\circ$. Здесь θ – угол между радиусами к городам из центра Земли, а не разность долгот. В «Компасе» это угол между двумя отрезками по 6371 мм, проведёнными под углами $90^\circ - \varphi$ к оси Земли.

Запомни. Время в тени = период $\times$ доля витка в тени. На низких орбитах в тени от трети до 40 % витка, у МКС – около 36 минут из 93. Правило «половина витка в тени» даёт запас, а не точный ответ.

Глава 5. 3D-моделирование: объёмы и массы в Компас-3D

Запомни. Тело не строится или вышло тонкой стенкой? Проверь по порядку: все линии контура – стиля «Основная»; контур замкнут, без щелей и двойных линий; ось вращения – «Осевая» или ось координат. Числа в эскизе – миллиметры.

Запомни. Объём детали собирают из кусков: выдавленный кусок – $S \cdot h$, кусок вращения – по таблице выше, отверстие – со знаком минус. Ширина половины профиля – **радиус**.

Запомни. Высота сборки – это сумма высот деталей минус всё, что «утонуло» в отверстиях. Фломастер с колпачком короче, чем фломастер и колпачок, положенные в линию.

Запомни. Перед тем как ввести массу из МЦХ, проверь: материал или плотность – те, что в условии? Объём переведён из мм³ (делим на 1000 – см³, на миллион – литры)?

Запомни. Как округляют в курсе. В заданиях курса по Компасу формат ответа задан условием, и он бывает разный: «масса в граммах целым числом, округление в большую сторону» (50,3 г – это 51) или «масса в килограммах, до тысячных» (0,0514 – это 0,051). Делай так, как сказано в условии, и смотри на единицу рядом с числом в окне МЦХ: у материалов из библиотеки масса бывает в килограммах, а при ручном вводе плотности – в граммах.

Глава 6. Электроника: ток, напряжение, сопротивление

Запомни. Нет замкнутого круга – нет тока. Вольты толкают, амперы текут, омы мешают. Приставка «милли» – это тысячная доля (1 мА = 0,001 А), «кило» – тысяча (1 кОм = 1000 Ом). На Arduino 5V – плюс, GND – минус.

Запомни. $I = U/R$. Две другие формы – $U = I \cdot R$ и $R = U/I$ – из неё же. Все числа бери из одной тройки единиц: В, А, Ом или В, кОм, мА.

Запомни. Последовательно: ток один и тот же, $R = R_1 + R_2 + \dots$, напряжения складываются. Параллельно: напряжение одно и то же, $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (меньше самого маленького), токи складываются.

Запомни. Анод (+) – длинная ножка, катод (–) – короткая, со стороны среза ободка. Светодиод – только через резистор: $R = (U - U_{св})/I$, номинал из ряда E12 – ближайший больший.

Запомни. Делитель: $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$, R_2 – нижний (к GND). Одинаковые резисторы – половина напряжения. Потенциометр – делитель, у которого $R_1 + R_2$ постоянно, а доля меняется ручкой.

Запомни. analogRead даёт целое число от 0 до 1023. $N = U/5 \cdot 1023$, $U = N \cdot 5/1023$. Сравнивают всегда с диапазоном, а не с точным числом.

Запомни. $\tau = R \cdot C$ (Ом · Ф = с, кОм · мкФ = мс). За τ – 63 %, за 3τ – 95 %, за 5τ – 99 %.

Запомни. $P = U \cdot I$ (Вт). Время работы $t = \text{ёмкость} / \text{ток}$ (мА·ч / мА = ч). Последовательно – складываются вольты, параллельно – мА·ч. Число батареек: по напряжению – длина цепочки, по ёмкости – число цепочек (вверх).

Глава 7. Программирование: Arduino и Python

Запомни. `=` кладёт, `=` спрашивает. Целое делим на целое – получаем целое: `7 / 2` даёт 3, а `7 % 2` – остаток 1. Нужна дробь – сделай одно из чисел дробным: `7.0 / 2` даёт 3.5. Больше 32 767 в `int` не положишь.

Запомни. В цепочке `if ... else if` срабатывает одна ветка – первая, где условие верно. `for (int i = 0; i < n; i++)` делает ровно `n` кругов, а последний раз счётчик равен `n - 1`. У `while` проверка стоит в начале круга – поэтому в примере вышло 243, а не 81. Функцию пишут выше вызова, а номер последнего символа строки на единицу меньше длины.

Запомни. Настройка ножек – в `setup()`, работа – в `loop()`. Все времена у Arduino в миллисекундах: `delay(1000)` – одна секунда, `millis()` считает от включения. `analogRead` отвечает числом от 0 до 1023, а `digitalRead` – только HIGH или LOW.

Запомни. Веса разрядов справа налево: 1, 2, 4, 8, 16, 32... Самый первый остаток от деления на 2 – это младший бит. Перевёл число – переведи обратно и сравни: перепутанный порядок битов сразу вылезет.

Запомни. Сдвинул строку на 4 пробела – она попала внутрь цикла или условия. Число с клавиатуры – только через `int(input())`. Нацело в Python делит `//`, одна черта даёт дробь. Кадр обходят двумя циклами: снаружи `y`, внутри `x`.

Запомни. Вместо `delay` – вопрос «сколько я уже в этом состоянии?»: `millis() - start`. Номер состояния живёт в одной переменной, а переходы проверяет цепочка `if ... else if` в `loop()`. Нарисовал схему – убедись, что из каждого прямоугольника выходит хотя бы одна стрелка.

Глава 8. Пикоспутник: энергия, связь и циклограмма полёта

Запомни. В курсе пять систем: СУ (управление, она же бортовой компьютер), СОС (ориентация и стабилизация), СТР (терморегулирование), СЭП (электропитание), БРК (радиокомплекс). Полезная нагрузка – не система, а цель полёта. СЭП кормит все остальные – поэтому любой расчёт спутника начинается с вопроса «хватит ли энергии».

Запомни. Метр на метр солнечного света в космосе – 1361 Вт. Панель отдаёт из них $P = S \cdot A \cdot \eta \cdot k$: площадь – в м², КПД – десятичной дробью, k – какая доля панели «видна» Солнцу (прямо – 1, на 60° – 0,5, боком – 0).

Запомни. Зачем вообще крутить панель: чтобы k оставалось около 1. Сравниваем с порогом, а не на равенство – иначе мотор не успокоится. Разница ровно в порог – ещё «стоим» (в программе стоит знак $>$, а не $\geq$).

Запомни. Порядок всегда один: сначала вольты (сколько элементов в цепочке), потом ампер-часы (сколько цепочек). Оба числа округляем **вверх** – недостающий элемент не допаяешь на орбите. Время в тени – в часах. Проверка: энергия батареи не меньше $P \cdot t$.

Запомни. В ионисторе $C \cdot U^2 / 2$ джоулей, но взять можно не всё – только до напряжения, при котором компьютер ещё жив. Джоули делим на ватты – получаем секунды. И 1 Вт·ч = 3600 Дж: пригодится, когда ионистор сравнивают с аккумулятором.

Запомни. Две разные проверки, и нужны обе. Баланс: панели за свет дают не меньше, чем системы съедают за **весь** виток, вместе с тенью. Запас: одну тень аккумулятор должен вытянуть сам. Ватт-минуты делим на 60 – получаем ватт-часы.

Запомни. Размер – в байтах, скорость – в битах в секунду, поэтому байты сначала умножаем на 8. Снимков за сеанс считаем только целые – округляем вниз. Длина волны $\lambda = c/f$, если частоту взять в герцах. ИК – для соседа, которого видно, радио – для Земли.

Запомни. Мало, чтобы хватило «в сумме»: тень проверяют отдельно, потому что там мощности от панели нет. Не влезает – сначала двигай на свет самый прожорливый режим, и только потом что-то выключай.

Запомни. Одно измерение показывает, **когда** сломалось, а соседнее в тот же момент – **что**. Ток панелей пропал на свету – спутник отвернулся от Солнца; ток в порядке, а заряд тает быстрее прежнего – кто-то забыл выключиться.

Где что найти

Таблица С.4

Что	Где
Правила олимпиады, сферы, сроки	junior.ntcontest.ru
Личный кабинет участника	my.ntcontest.ru
Курс сферы «Космотех» (за тест курса +5 баллов к отбору)	academy.junior.online , вход через «Талант»
Платформа отбора	orbita.education (заходить кнопкой из личного кабинета)
Памятки для Новосибирской области	nto.kvantorium54.ru
Симулятор Arduino и схем	wokwi.com
«Компас-3D»	kompas.ru
Arduino IDE	по желанию, для настоящей платы; ставит педагог кружка

Об авторе-составителе



Артём Осиновский

Методист и разработчик детского технопарка «Кванториум» (Новосибирск). Придумывает образовательные программы и сам делает для них цифровые инструменты: платформу смены «Миссия на Луну» для фестиваля «Технопром-2026», сайт с памятками НТО Юниоры для Новосибирской области. Эту книгу собрал для школьников области, чтобы к отбору можно было подготовиться самостоятельно – даже без кружка рядом с

домом.

Нашли ошибку – пишите на osinovsky.aa@kvantorium54.ru (рабочая почта): сфера, версия книги и страница. По другим вопросам и проектам – личная: artem081033@gmail.com.