



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КИБЕРФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПРОГРАММИСТОВ

Агамирзян И.Р., Буров В.В.

Национальный исследовательский
университет Высшая школа экономики
(НИУ ВШЭ), Москва



Языки и средства разработки

- Для следующих категорий программных систем:
 1. Корпоративные информационные системы
 2. Мобильные системы (Mobile)
 3. Интернет-ориентированные (Web) системы
 4. Встроенные системы (Embedded)
- Программирование для встроенных систем получило в последние несколько лет очень существенный импульс в связи с развитием концепции интернета вещей и киберфизических систем
- Существует значительная специфика языков и средств разработки



НИС «Создание киберфизических систем»

- На образовательной программе «Программная инженерия» факультета компьютерных наук НИУ ВШЭ с 2016 года проводится научно-исследовательский семинар для бакалавров первого курса «Создание киберфизических систем»
- Результатом работы студентов являются работающие прототипы киберфизических систем, создаваемые в процессе групповой проектной работы
- Подход к преподаванию основ создания киберфизических систем в значительной мере базируется на концепции “Bits and Atoms” Массачусетского технологического института



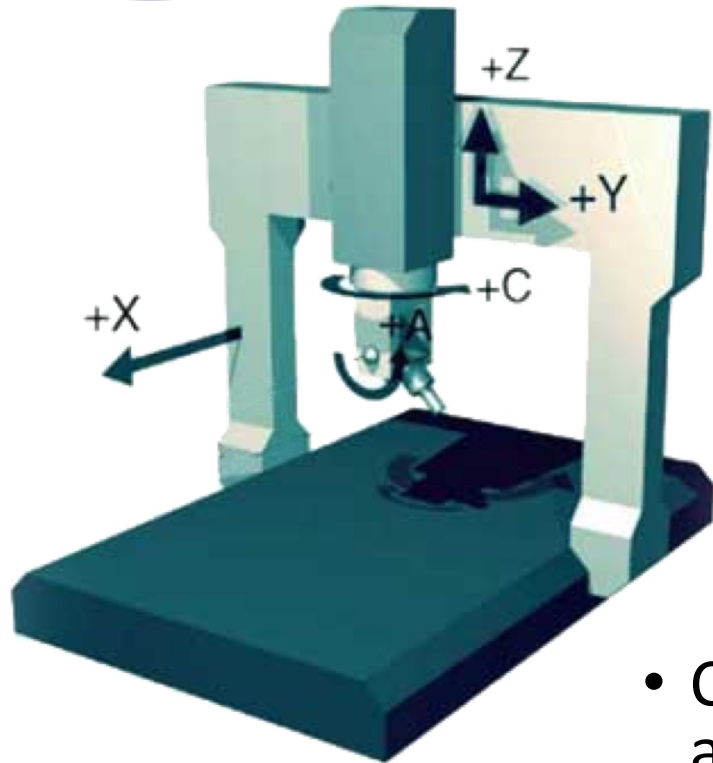
Цифровые методы в производстве

- Вся современная обрабатывающая промышленность основана на применении цифровых методов



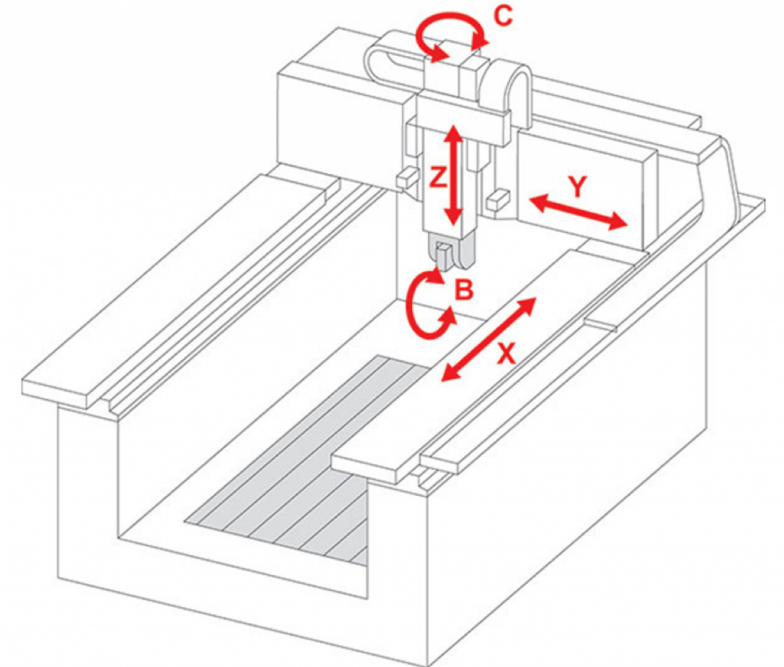


Цифровые методы в производстве



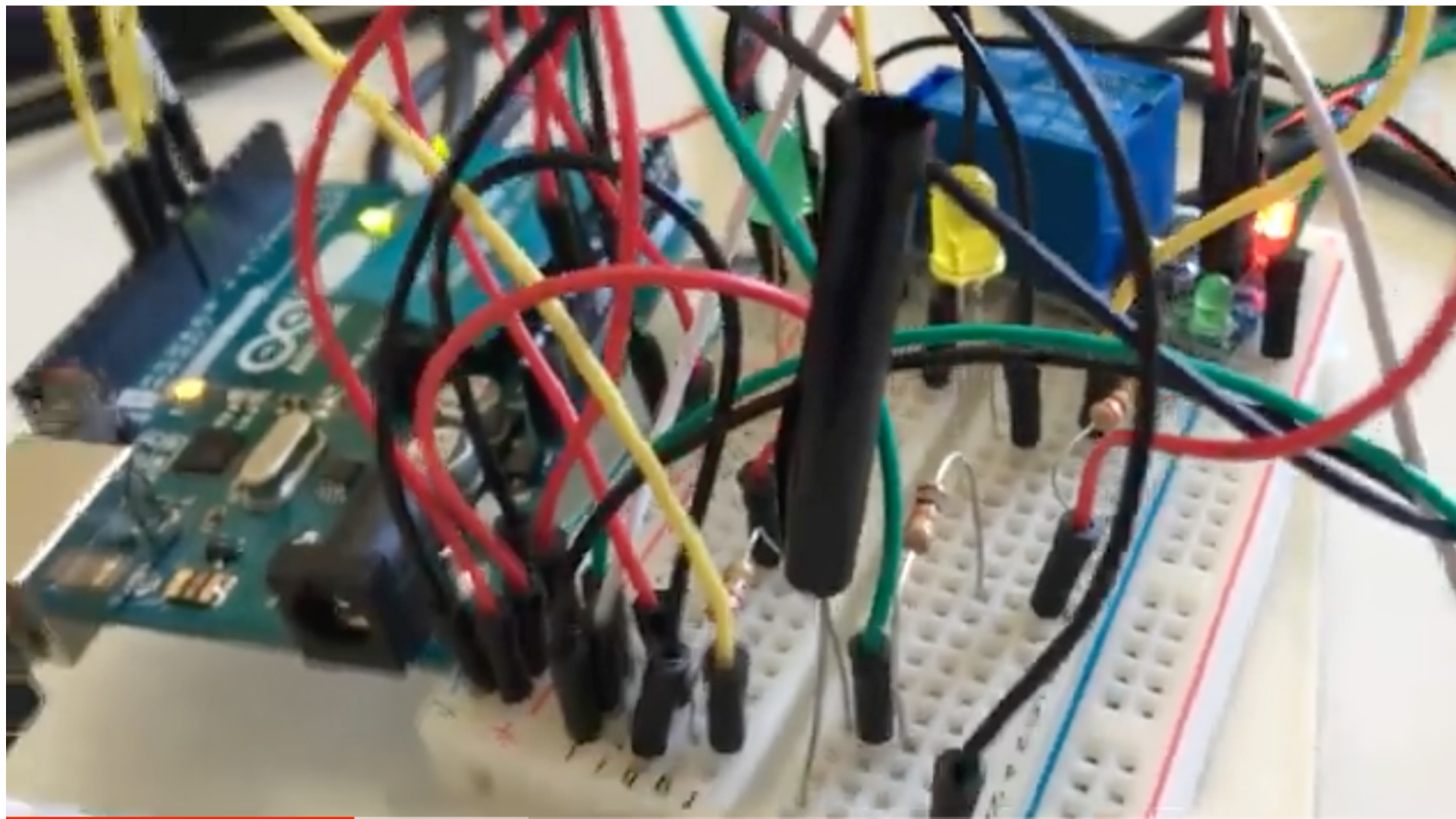
- Перемещение инструмента по осям в декартовом пространстве
- Наклоны, повороты инструмента как дополнительные оси
- Декартовы координаты для станков, полярные для роботов

- Субтрактивные и аддитивные методы обработки
- Фрезер и 3D-принтер



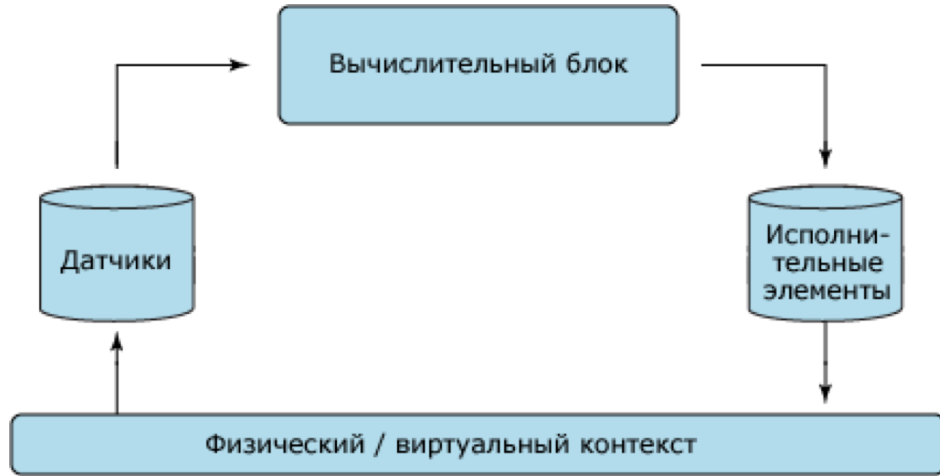


...и, естественно, электроника





Киберфизические системы



Наиболее общая схема
киберфизической системы

- Любой станок или робот является киберфизической системой
- Киберфизическая система состоит из сенсоров (датчиков), контроллеров (вычислительных блоков) и актуаторов (исполнительных элементов)
- Примеры киберфизических систем – станки, роботы, интеллектуальные транспортные системы, интеллектуальная энергетика, умный дом, интернет вещей
 - Любая система, получающая информацию из физического мира, обрабатывающая её в цифровой форме и меняющая состояние физического мира является киберфизической системой



Проектирование киберфизических систем

- Мультидисциплинарная тематика
 - Понимание принципов работы электроники и мехатроники
 - микроконтроллеров, сенсоров и актуаторов
 - Знание принципов и технологий перемещения в пространстве
 - Знание методов программирования и существующих программных инструментов и библиотек
 - Умение интегрировать существующие готовые электронные и механические компоненты
- Этот набор знаний и навыков выходит за традиционные границы представлений о программировании
 - Находится на стыке компетенций программиста и инженера

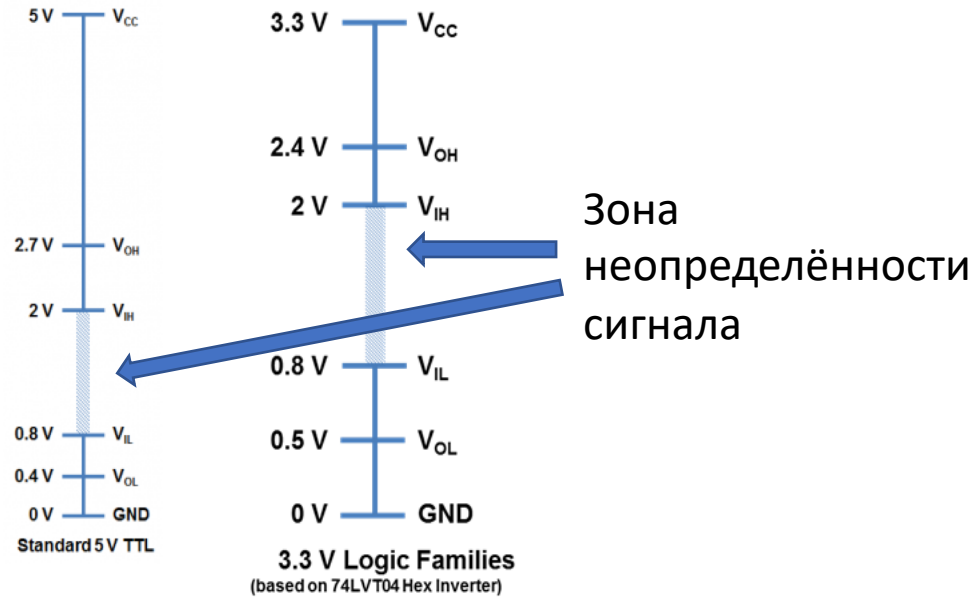


Основные темы семинара - 1

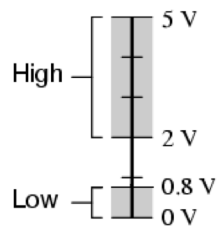
- Базовые понятия киберфизических систем и интернета вещей – сенсоры, контроллеры, актуаторы. Рассмотрение принципов работы контроллеров и актуаторов.
- Принципы проектирования электронных систем на базе микроконтроллеров и быстрого прототипирования простых киберфизических систем. Средства моделирования киберфизических систем на примере Autodesk Tinkercad Circuits.



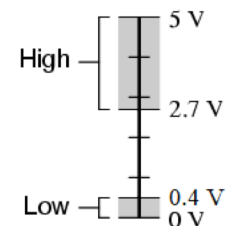
Начиная с принципов работы цифровой электроники...



Acceptable TTL gate input signal levels



Acceptable TTL gate output signal levels

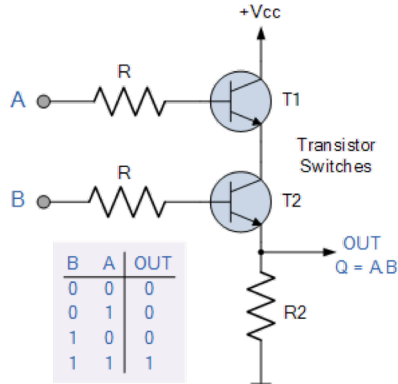
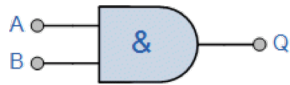


- В электронных устройствах цифровые значения кодируются уровнями напряжений в текущий момент времени
- Существует ряд стандартов, в которых, как правило, логический 0 кодируется напряжением 0 V, а логическая единица – значением +5 V для TTL-логики или +3.3 V для CMOS-логики
 - TTL – Transistor–transistor logic
 - CMOS - Complementary metal–oxide–semiconductor
- Мы в дальнейшем будем работать с TTL-логикой

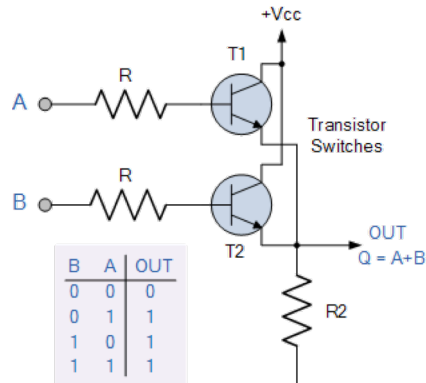
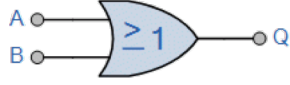


...рассмотрения логических элементов

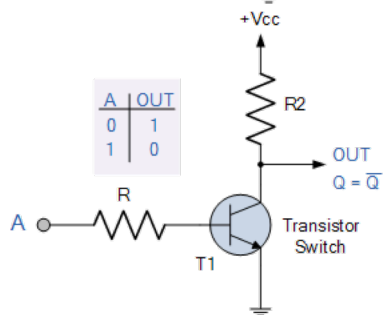
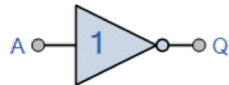
Logic AND



Logic OR



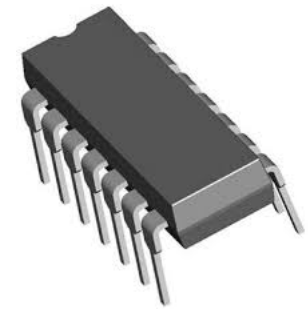
Logic NOT



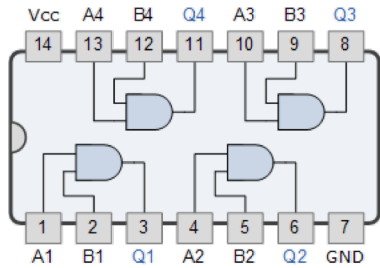
- Это три основных логических элемента цифровой логики, соответствующие операциям булевой алгебры
- В принципе, с их помощью можно реализовать любую логическую схему
- Однако для удобства проектирования и реализации принято выделять ещё некоторые элементы



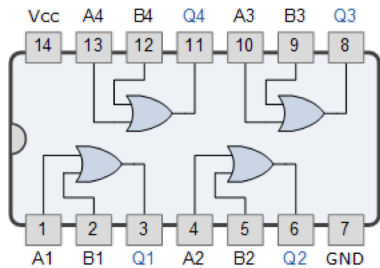
...до микросхем цифровой ЛОГИКИ



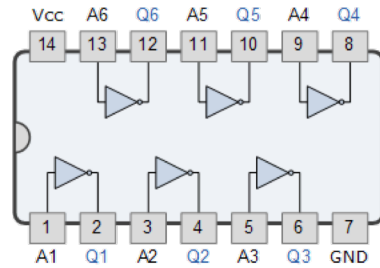
7408 Quad 2-input AND Gate



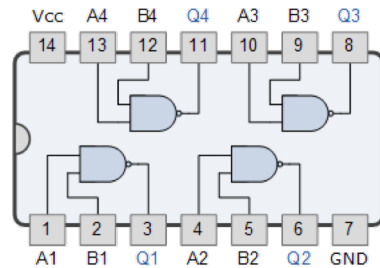
7432 Quad 2-input Logic OR Gate



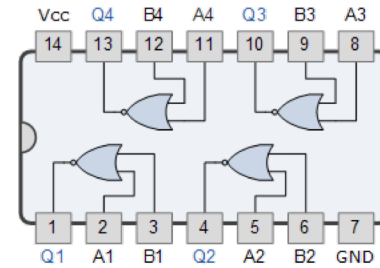
7404 NOT Gate or Inverter



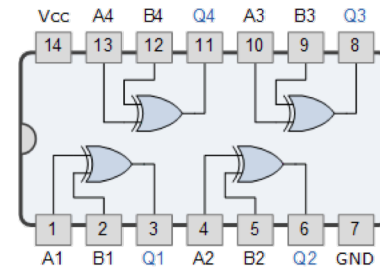
7400 Quad 2-input Logic NAND Gate



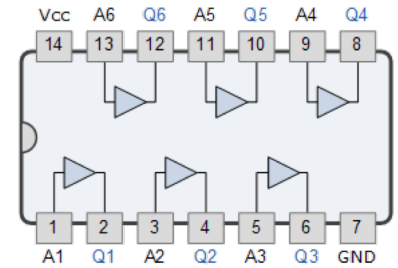
7402 Quad 2-input NOR Gate



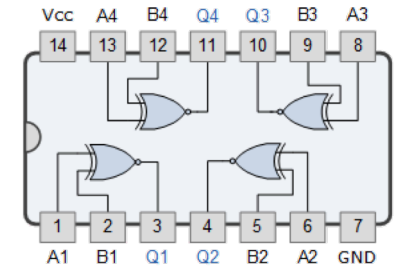
7486 Quad 2-input Exclusive-OR Gate



74LS07 Digital Buffer

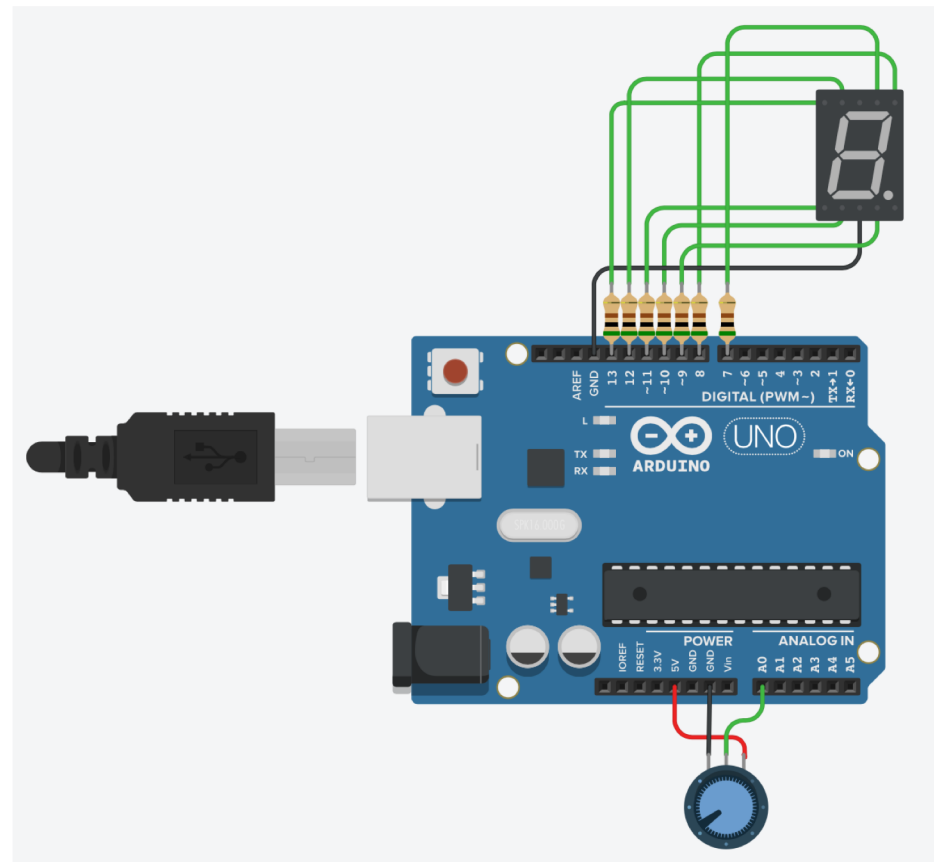
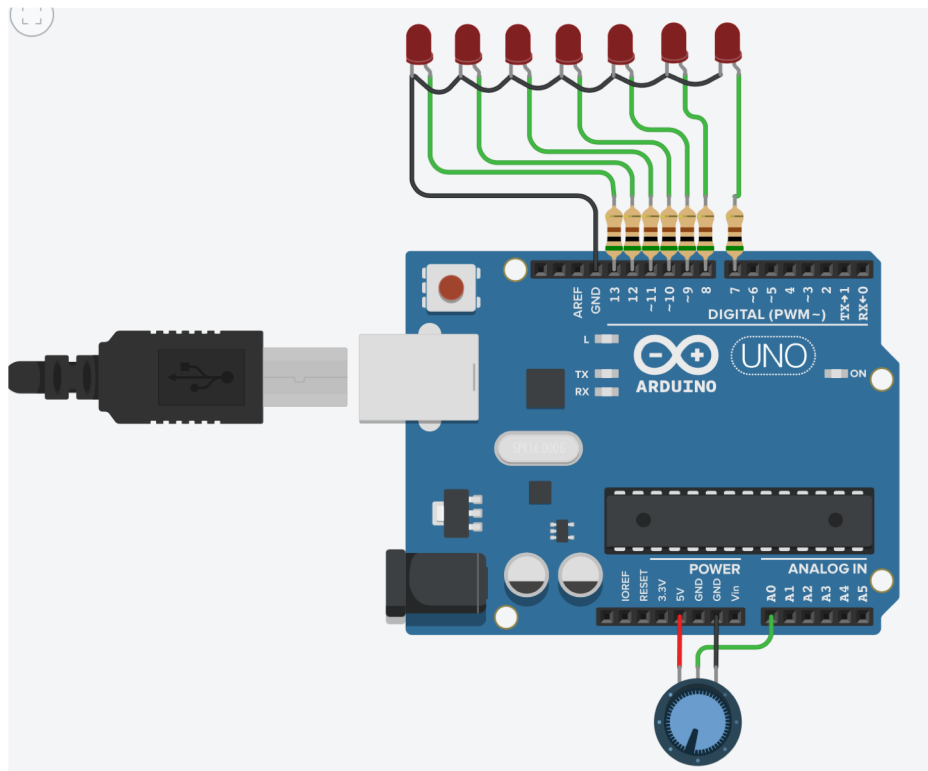


74266 Quad 2-input Ex-NOR Gate



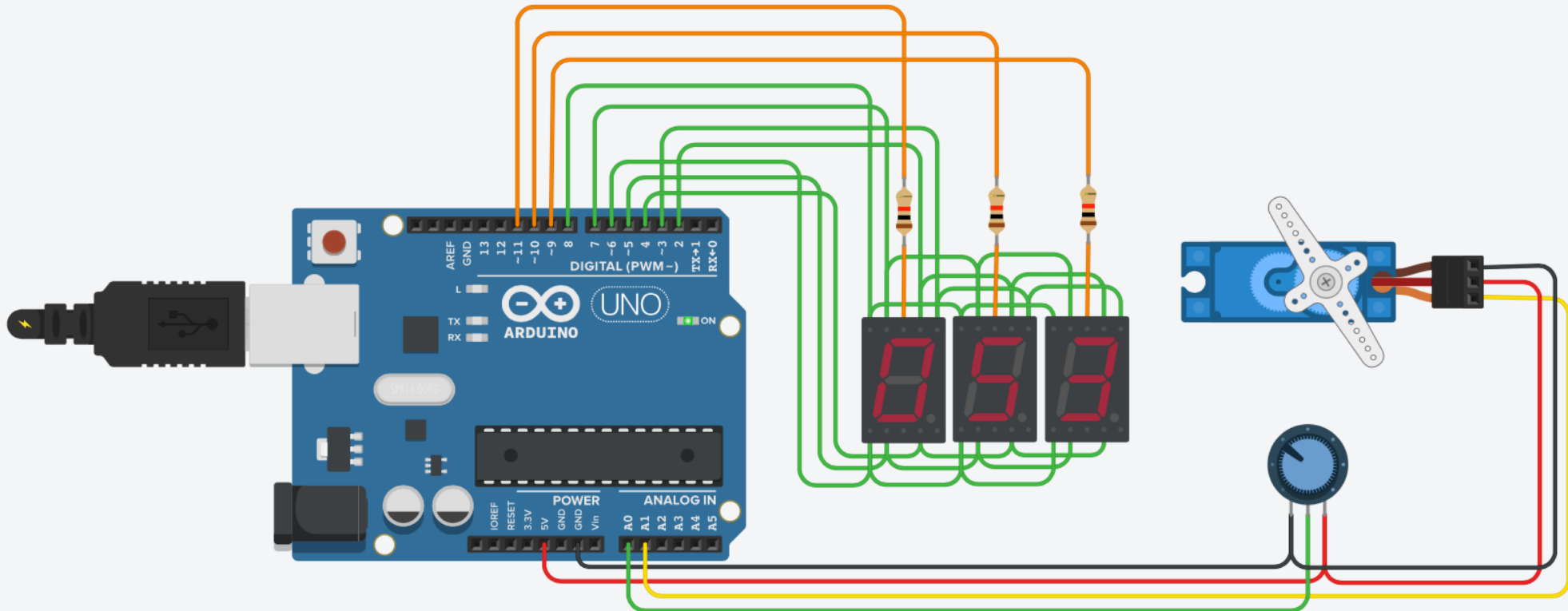


...и микроконтроллеров с простейшими индикаторами





Важным инструментом в курсе является Autodesk Tinkercad Circuits



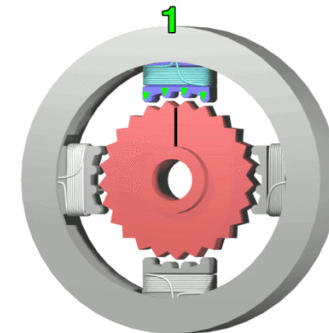
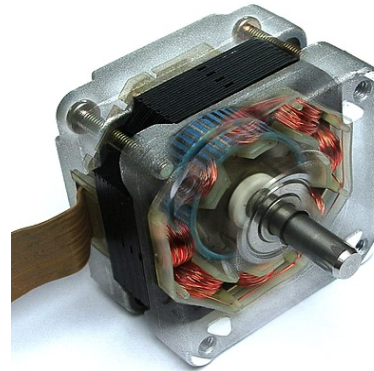
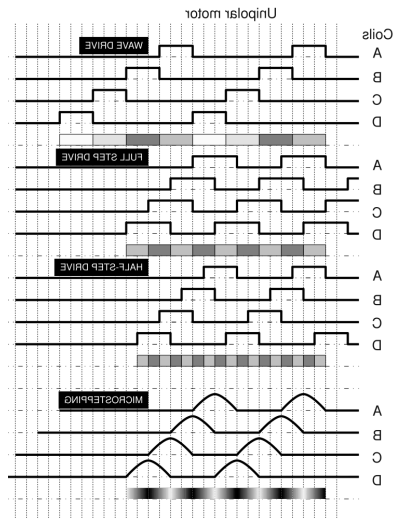
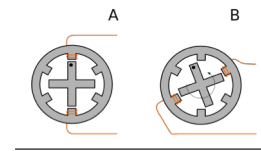
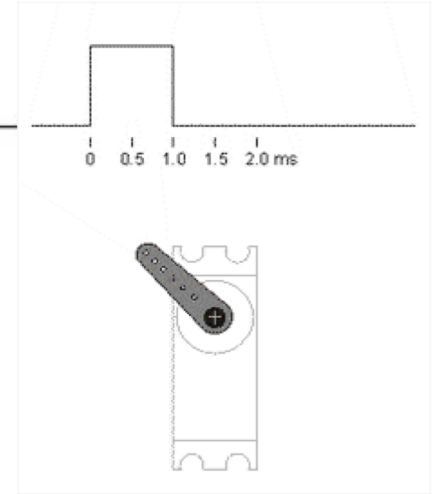


Основные темы семинара - 2

- Принципы перемещения в пространстве. Управление по осям для перемещений в 1D-2D-3D-пространствах. Преобразование вращательного движения в поступательное. Построение 1D- и 2D-систем с использованием шаговых двигателей и винтовой передачи (ШВП).

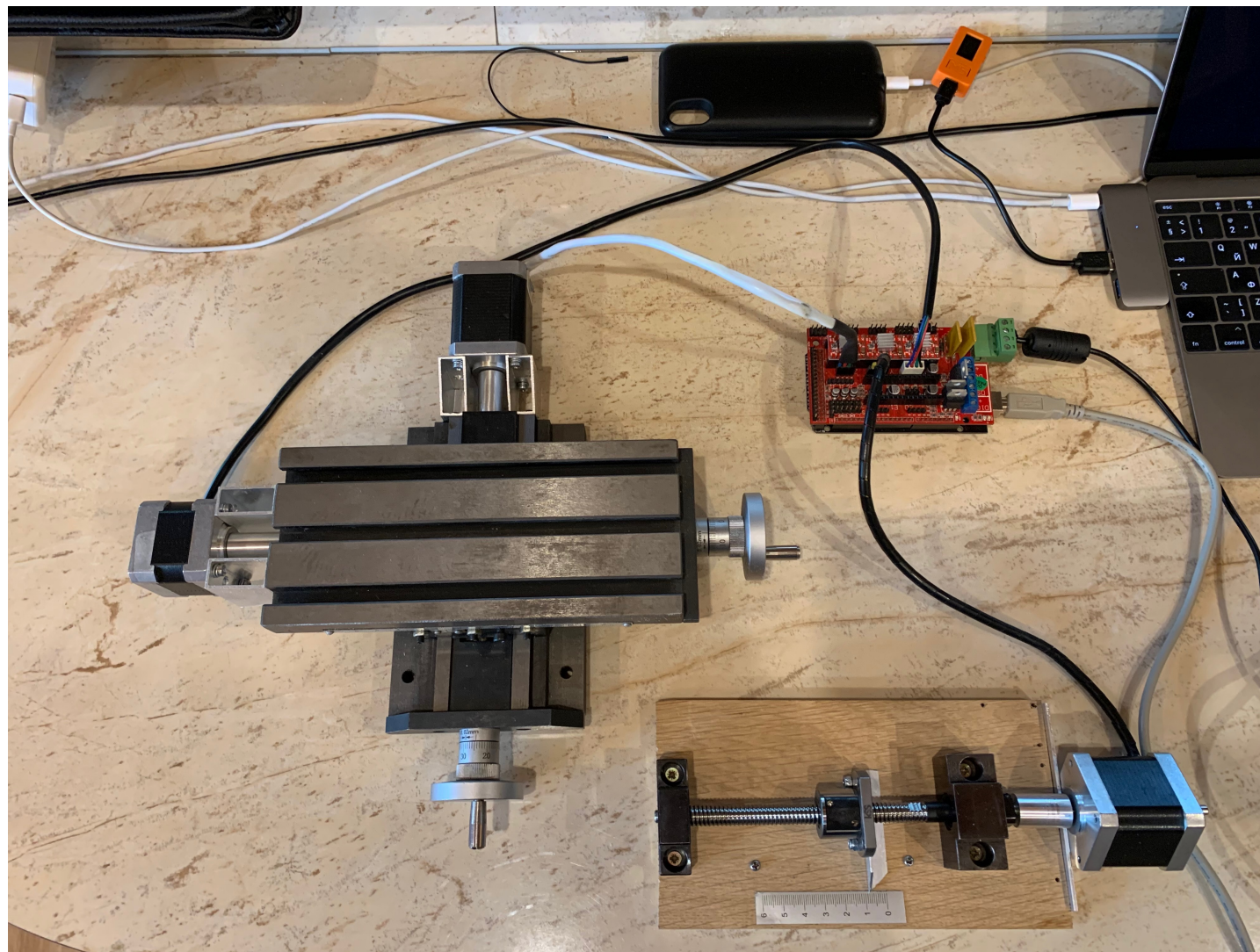


От устройства и методов управления сервоприводами...





...до реальных координатных устройств



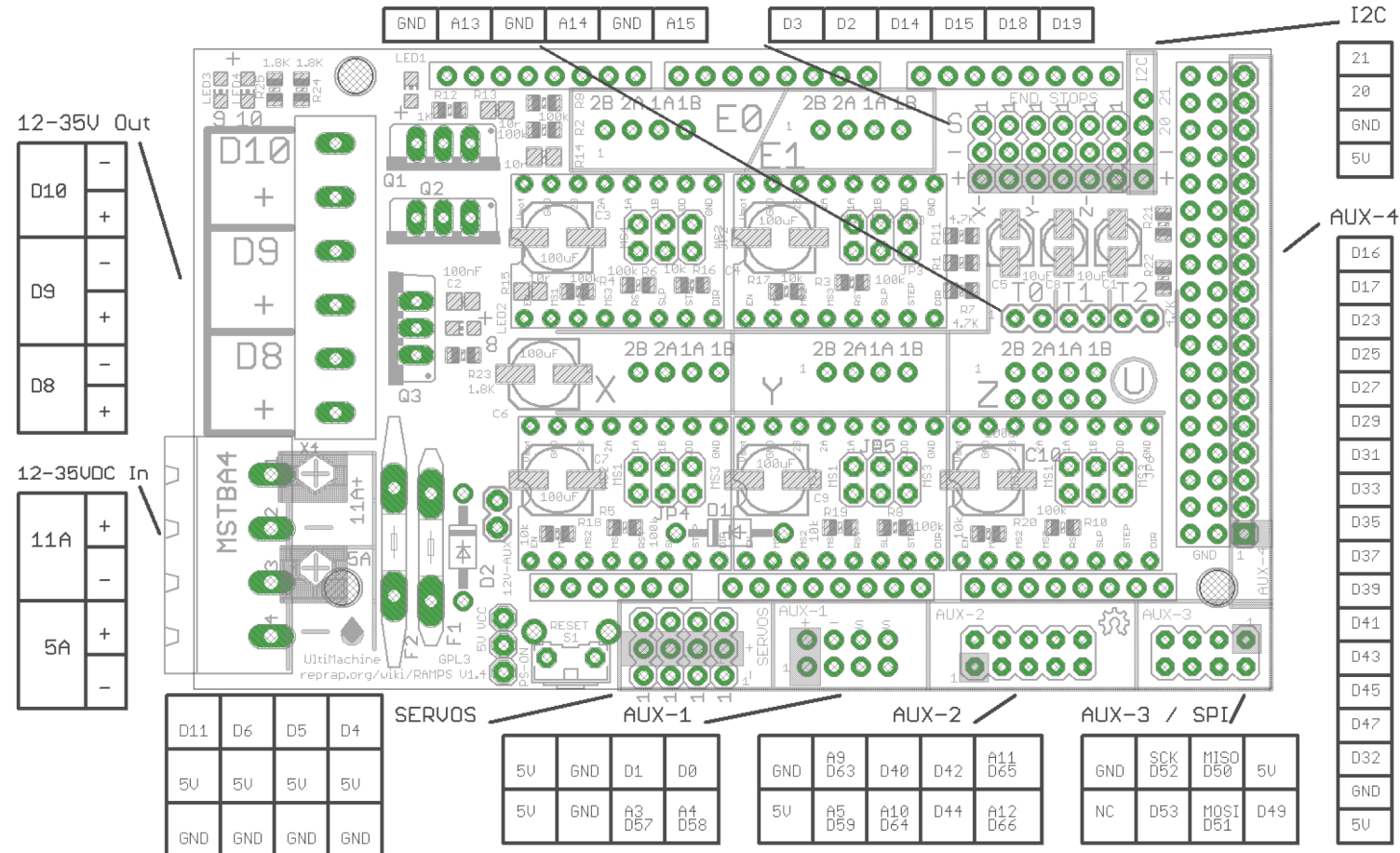


...и принципов работы и настройки RAMPS и **Marlin**

RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield)
reprap.org/wiki/RAMPS1.4

GPL v3

Следите за правильностью подключения питания и установки драйверов, иначе электроника сгорит





Основные темы семинара - 3

- Принципы проектирования 3D-объектов. OpenSCAD как инструмент функционального программирования 3D-объектов. Преобразование объекта в траекторию его построения
- Построение реальных объектов с использованием 3D-принтеров – основные технологические операции: проектирование, слайсинг, печать



OpenSCAD – среда трёхмерного функционального программирования

The screenshot displays the OpenSCAD software interface. On the left is a code editor window titled "Редактор" (Editor) showing SCAD code for a rectangular plate with four holes. The code includes a `base()` function and a `module base()` definition. The `union()` block creates four holes at the corners, and the `difference()` block subtracts them from the plate. The `linear_extrude()` function is used to give the plate thickness.

```
42     base();
43     translate([0,0,height])
44         plate();
45 }
46
47 module base()
48 // All dimensions in mm
49 x = width;
50 y = depth;
51 z = height;
52
53 union()
54 for (i=[ [hole_offset,hole_offset, 0],
55         [hole_offset,y-hole_offset, 0],
56         [x-hole_offset,hole_offset, 0],
57         [x-hole_offset,y-hole_offset, 0] ])
58 {
59     translate(i){
60         linear_extrude(height=z){
61             difference(){
62                 circle(r=(hole_diameter));
63                 circle(r=(hole_diameter/2));
64             }
65         }
66     }
67 }
68 difference(){
69     translate([x/2, y/2, height/2]){
70         roundedBox([x, y, height], 5, true);
71     }
72     translate([material_thickness, material_thickness
73 , 0]) {
74         linear_extrude(height=z)
75         square(size = [x-(material_thickness*2), y-(
76 material_thickness*2)], center = false);
77     }
78 }
```

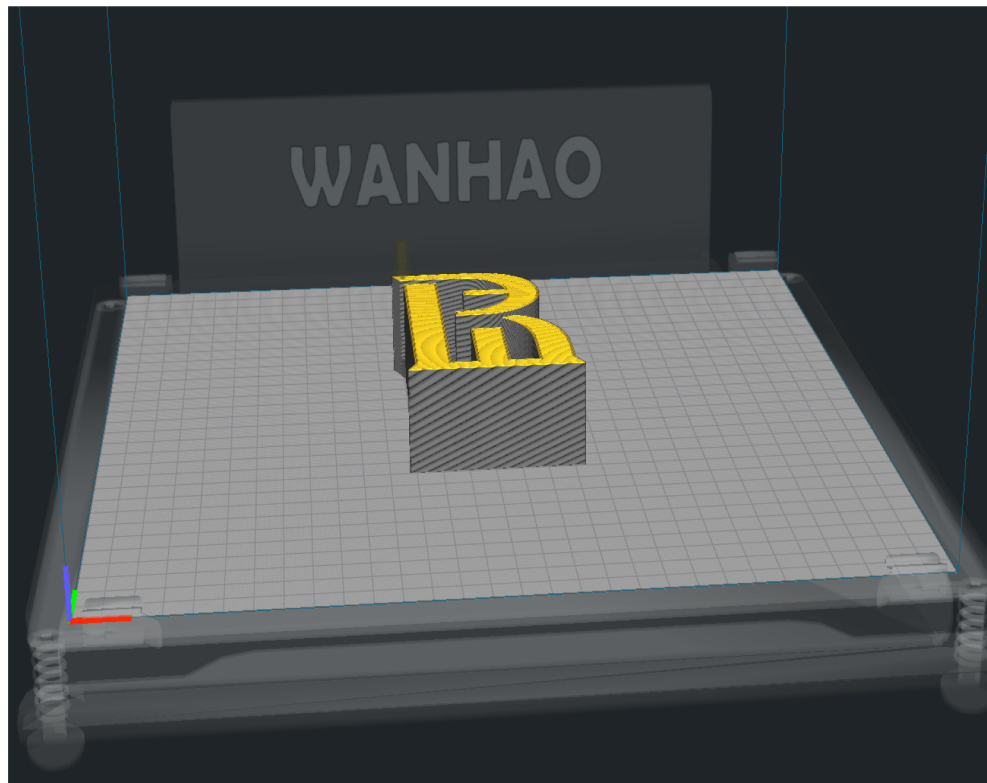
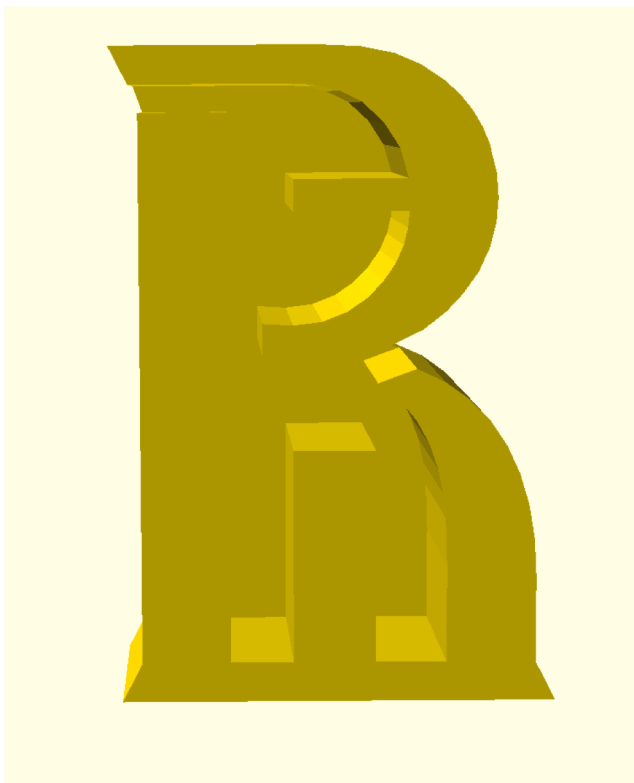
On the right is a 3D rendering window titled "MailRu.scad" showing a yellow rectangular plate with four holes at the corners. Below the rendering is a console window titled "Консоль" (Console) displaying rendering statistics:

```
CGAL Polyneurons in cache: 24
CGAL cache size in bytes: 6127856
Total rendering time: 0 hours, 0 minutes, 14 seconds
Top level object is a 3D object:
Simple: yes
Vertices: 400
Halfedges: 1246
Edges: 623
Halffacets: 452
Facets: 226
Volumes: 2
Rendering finished.
```

At the bottom of the interface, the current view parameters are shown: `Обзор: translate = [-0.00 -0.00 -0.00], rotate = [185.20 0.00 200.00], distance = 794.99`



Слайсинг и печать на 3D-принтере





Проектная работа на семинаре

- В процессе занятий 1-2 модулей студенты выполняют маленькие самостоятельные работы по темам
- В начале 3-го модуля каждый студент выполняет небольшой индивидуальный проект
- Вторая половина 3-го модуля – выполнение групповых проектов (группами из 2-4 студентов)
- Проекты выбираются из принципа «ансамбля проектов» – когда все проекты, выполняемые группами, взаимосвязаны, и студентам приходится договариваться не только о распределении ролей в команде, но и о протоколах взаимодействия с проектами других групп



«Ансамбль проектов» (учебных)

1. Получить с устройства ввода целочисленное значение N в диапазоне 0-9; Обеспечить стабилизированное вращение коллекторного электродвигателя 5-12V со скоростью $N * 100 + 1000$ об/мин.
2. Измерить скорость вращения диска, приводимого в движение электродвигателем из проекта 1, восстановив первоначальное значение N ; Сгенерировать световое пятно уникального для каждого значения N цвета.
3. Распознать цвет светового пятна, сгенерированного устройством в проекте 2 и восстановить первоначальное значение N ; Сгенерировать тональный звук уникального для каждого значения N тона.
4. Распознать высоту звука, сгенерированного устройством в проекте 3 и восстановить первоначальное значение N ; Обеспечить стабилизированную температуру жидкости, уникальную для каждого значения N .
5. Измерить температуру жидкости из проекта 4, восстановив первоначальное значение N ; Передать значение N азбукой Морзе с использованием механического извлечения звука.
6. Распознать передаваемое азбукой Морзе из проекта 5 значение N ; Вывести значение N и время его получения на устройство индикации и отправить это значение и время по электронной почте на заранее заданный адрес.



Опыт и выводы четырёх лет работы

- Даже хорошие студенты-программисты очень редко хорошо знают физику в пределах школьного курса
 - Многие понятия и принципы приходится давать практически с нуля
- Многие студенты, достаточно хорошо понимая принципы программирования, совсем не знают принципов работы компьютеров
 - Всё же программист должен знать основы электроники, особенно если ему предстоит разрабатывать встроенные приложения
- У вчерашних школьников, как правило, большие проблемы с коммуникативными навыками
 - Групповые проекты способствуют выработке коммуникативных навыков для командной работы и взаимодействия с поставщиками и заказчиками



Спасибо за внимание!

