



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



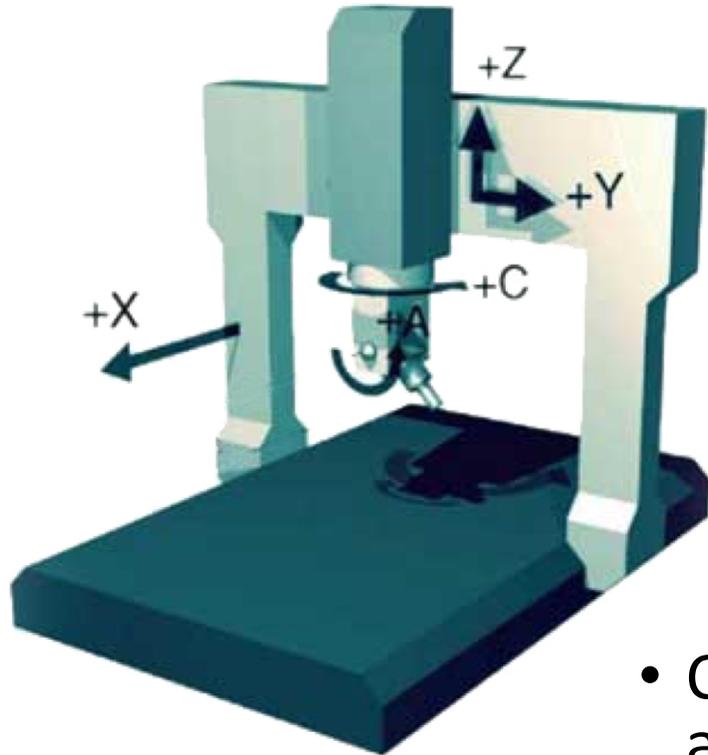
# Цифровые методы в производстве

- Вся современная обрабатывающая промышленность основана на применении цифровых методов



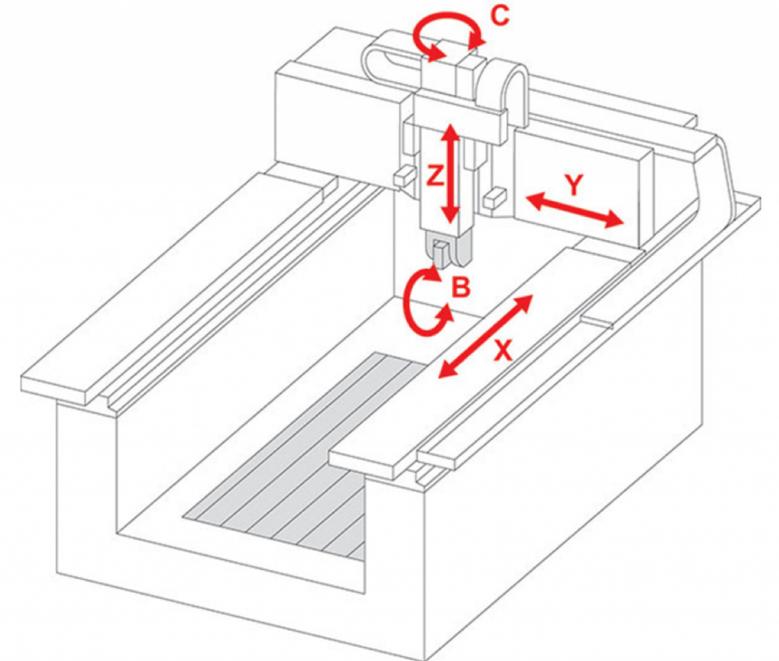


# Цифровые методы в производстве



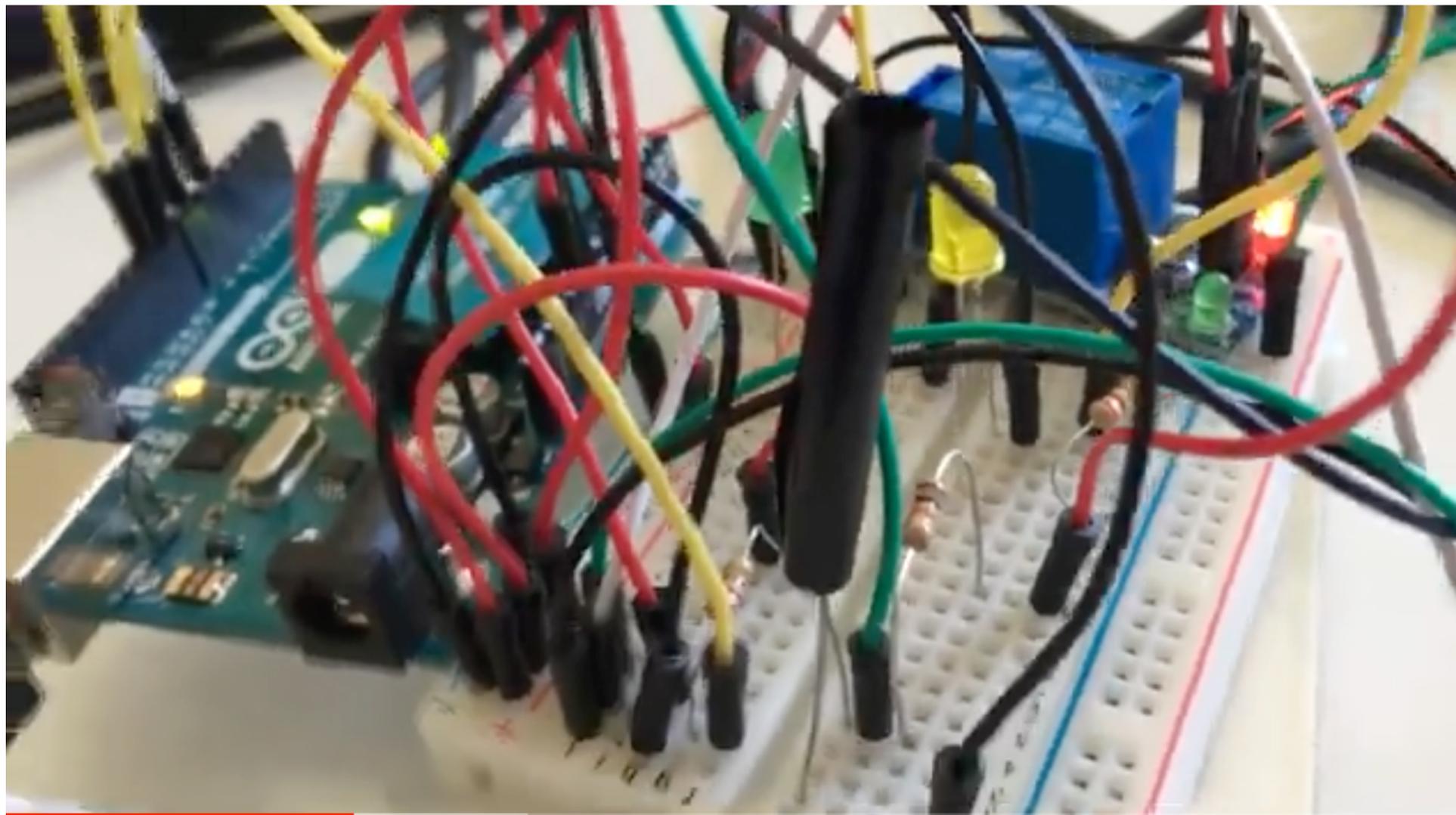
- Перемещение инструмента по осям в декартовом пространстве
- Наклоны, повороты инструмента как дополнительные оси
- Декартовы координаты для станков, полярные для роботов

- 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

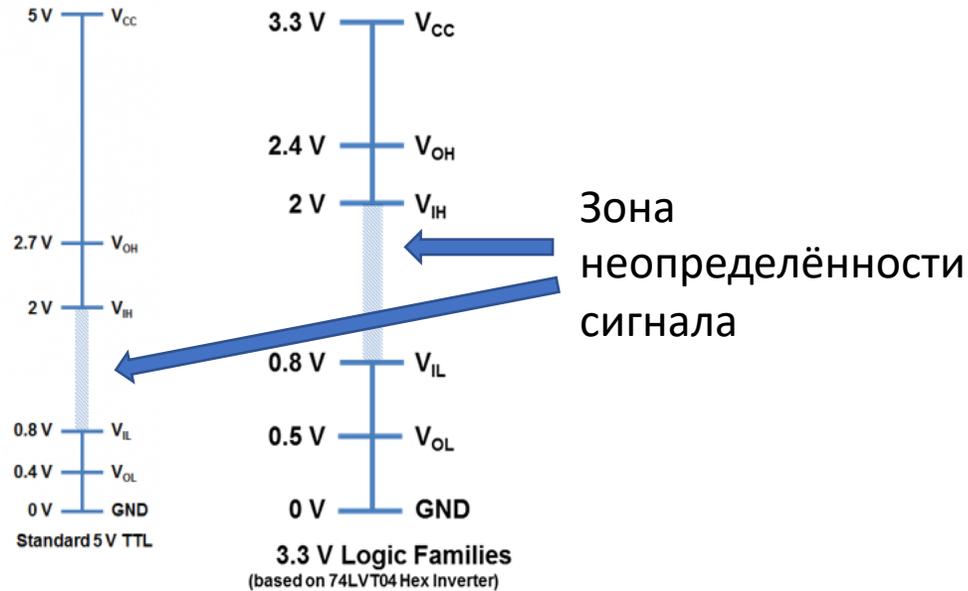


# Основные темы семинара - 1

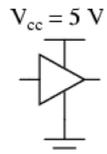
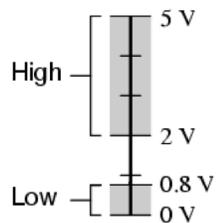
- Базовые понятия киберфизических систем и интернета вещей – сенсоры, контроллеры, актуаторы. Рассмотрение принципов работы контроллеров и актуаторов.
- Принципы проектирования электронных систем на базе микроконтроллеров и быстрого прототипирования простых киберфизических систем. Средства моделирования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



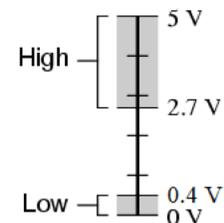
# Начиная с принципов работы цифровой электроники...



Acceptable TTL gate input signal levels



Acceptable TTL gate output signal levels

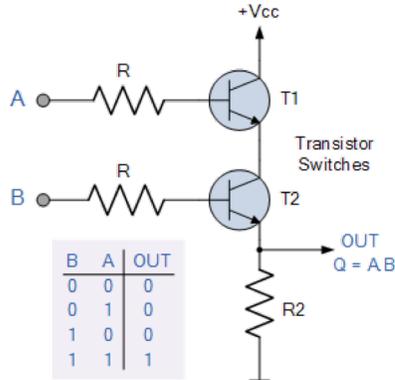


- В электронных устройствах цифровые значения кодируются уровнями напряжений в текущий момент времени
- Существует ряд стандартов, в которых, как правило, логический 0 кодируется напряжением 0 V, а логическая единица – значением +5 V для TTL-логики или +3.3 V для CMOS-логики
  - TTL – Transistor–transistor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

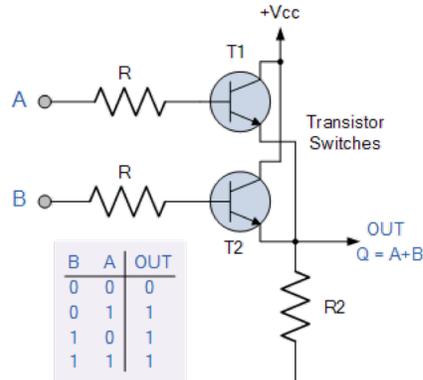
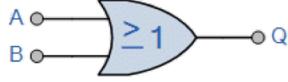


# ...рассмотрения логических элементов

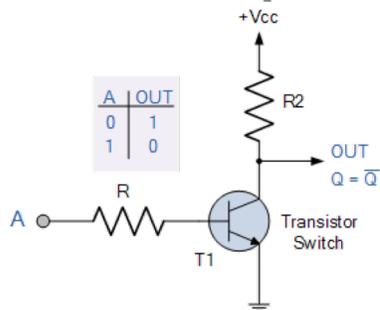
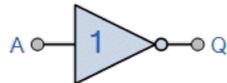
Logic AND



Logic OR



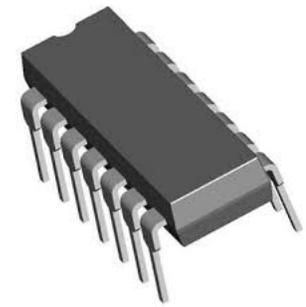
Logic NOT



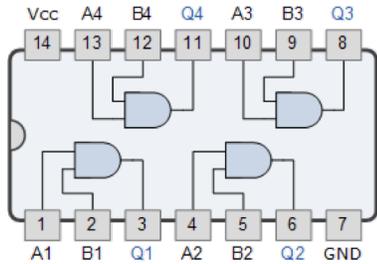
- Это три основных логических элемента цифровой логики, соответствующие операциям булевой алгебры
- В принципе, с их помощью можно реализовать любую логическую схему
- Однако для удобства проектирования и реализации принято выделять ещё некоторые элементы



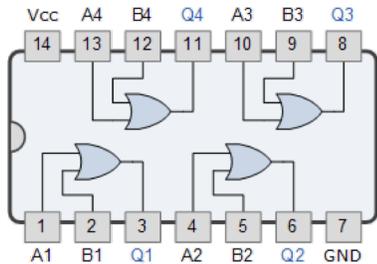
# ...до микросхем цифровой ЛОГИКИ



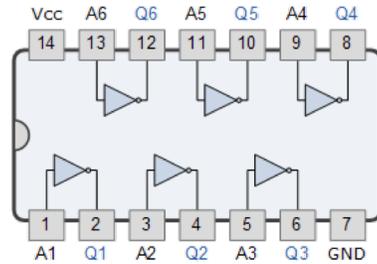
7408 Quad 2-input AND Gate



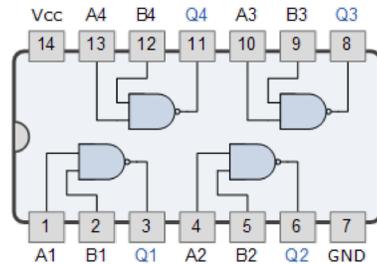
7432 Quad 2-input Logic OR Gate



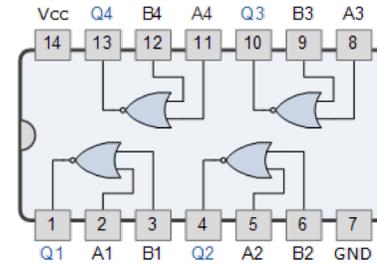
7404 NOT Gate or Inverter



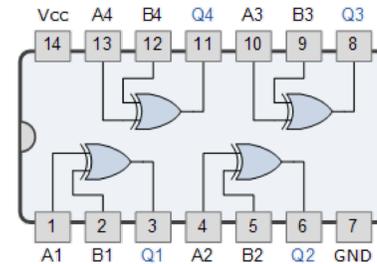
7400 Quad 2-input Logic NAND Gate



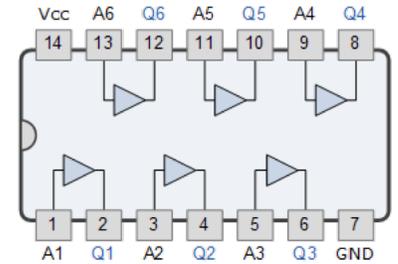
7402 Quad 2-input NOR Gate



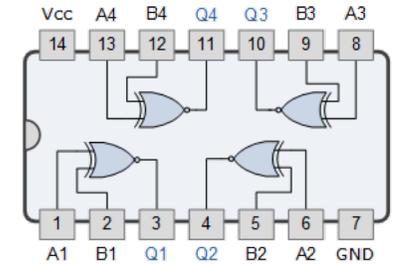
7486 Quad 2-input Exclusive-OR Gate



74LS07 Digital Buffer

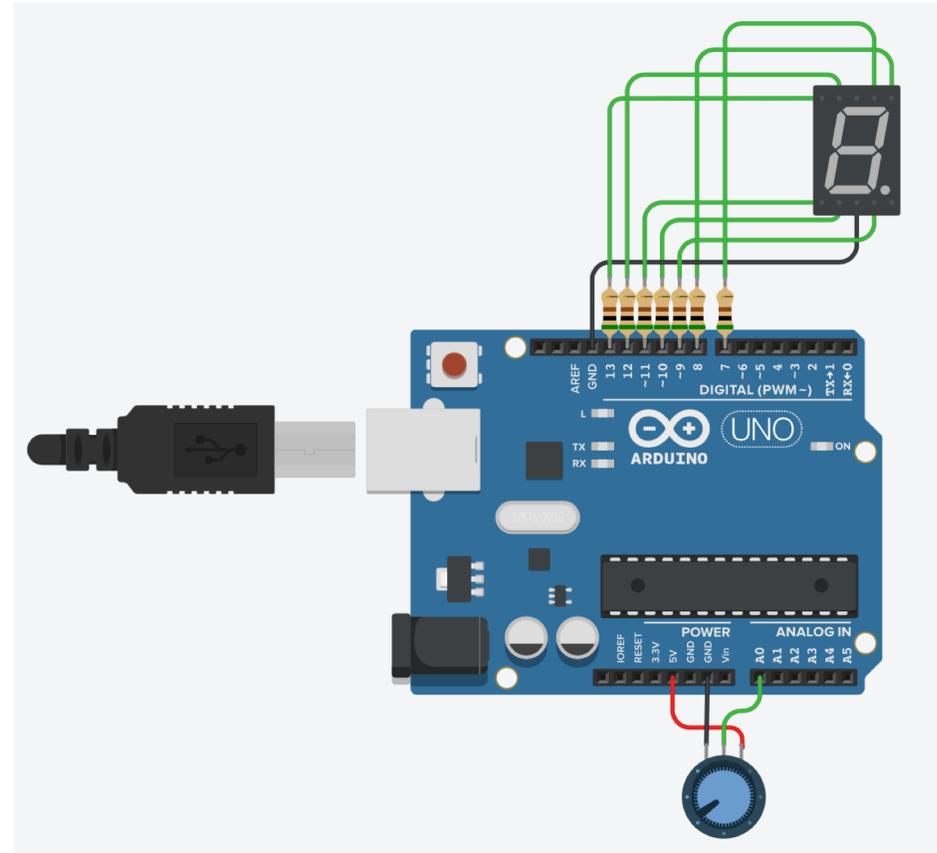
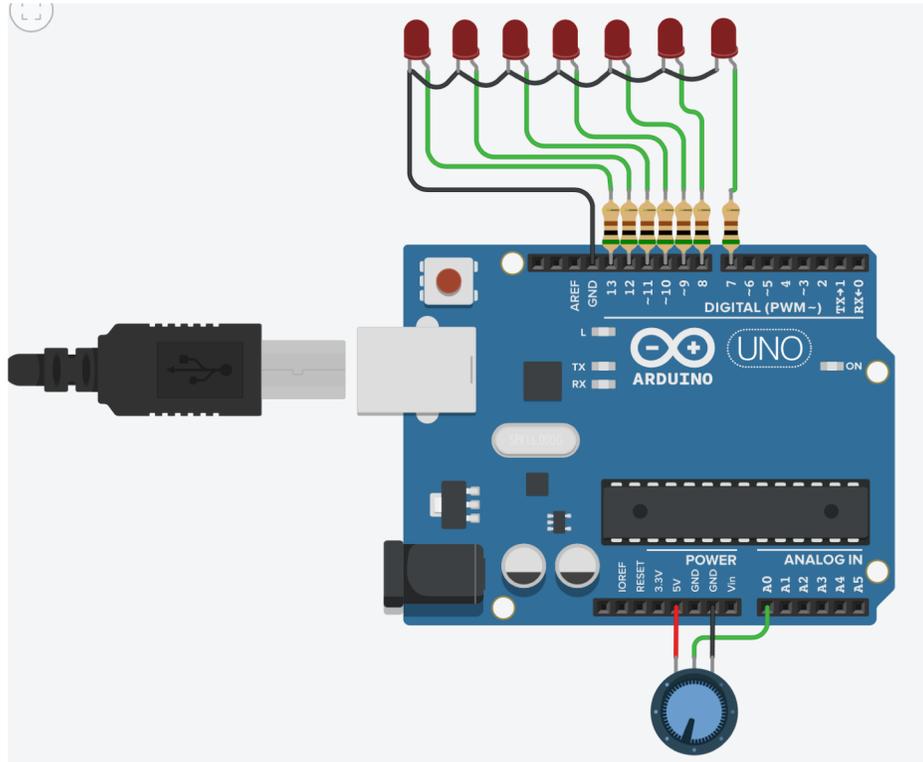


74266 Quad 2-input Ex-NOR Gate



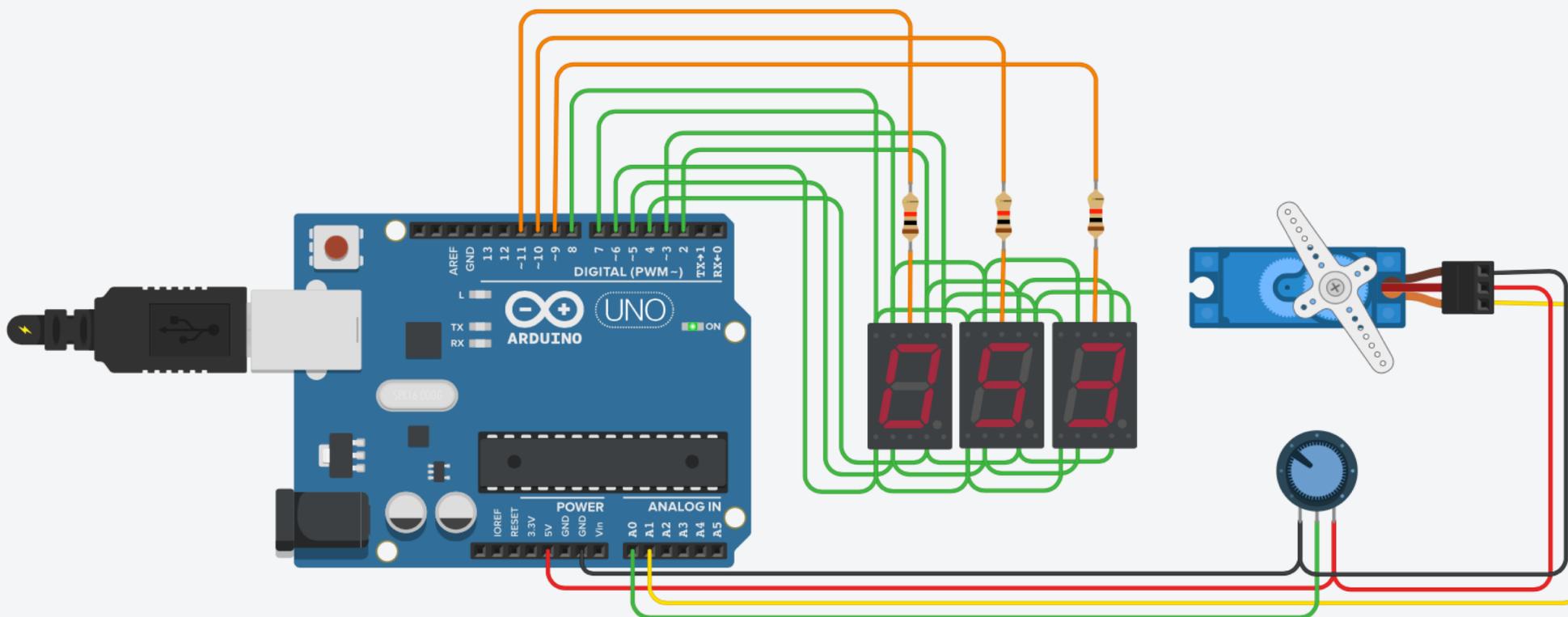


...и микроконтроллеров с простейшими индикаторами





# Важным инструментом в курсе является Autodesk Tinkercad Circuits



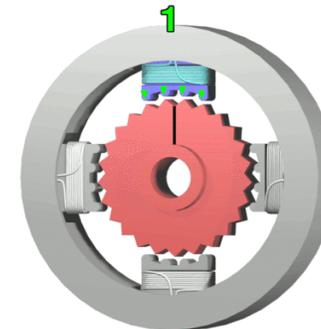
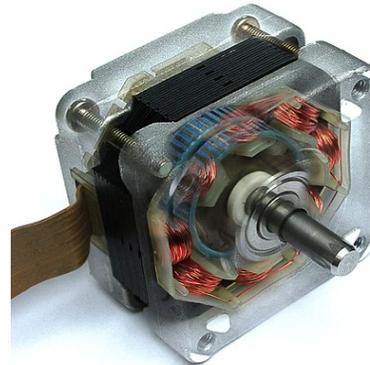
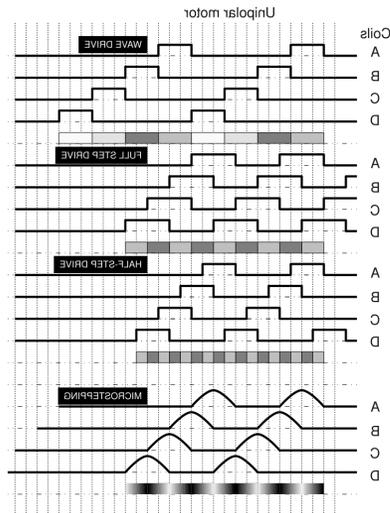
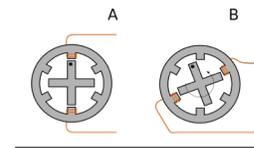
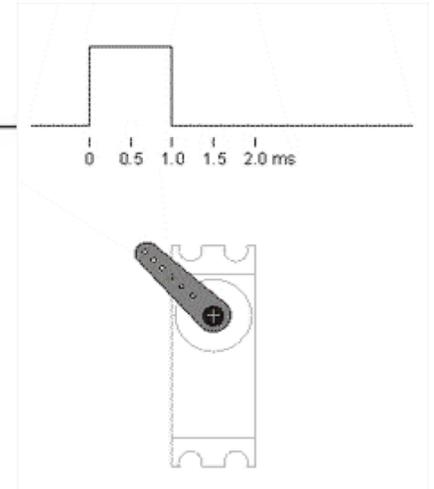


## Основные темы семинара - 2

- 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).

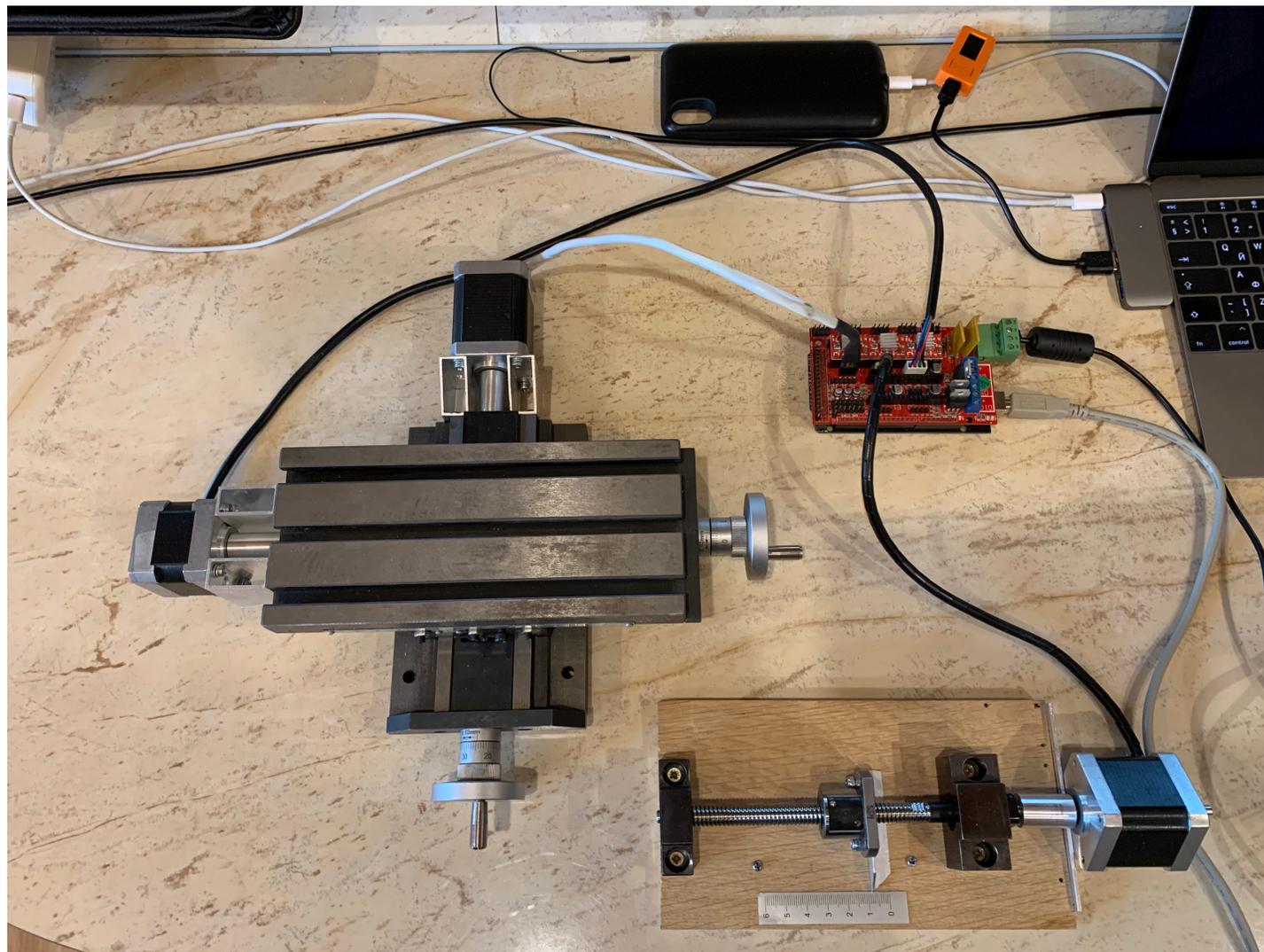


# От устройства и методов управления сервоприводами...





...до реальных координатных устройств



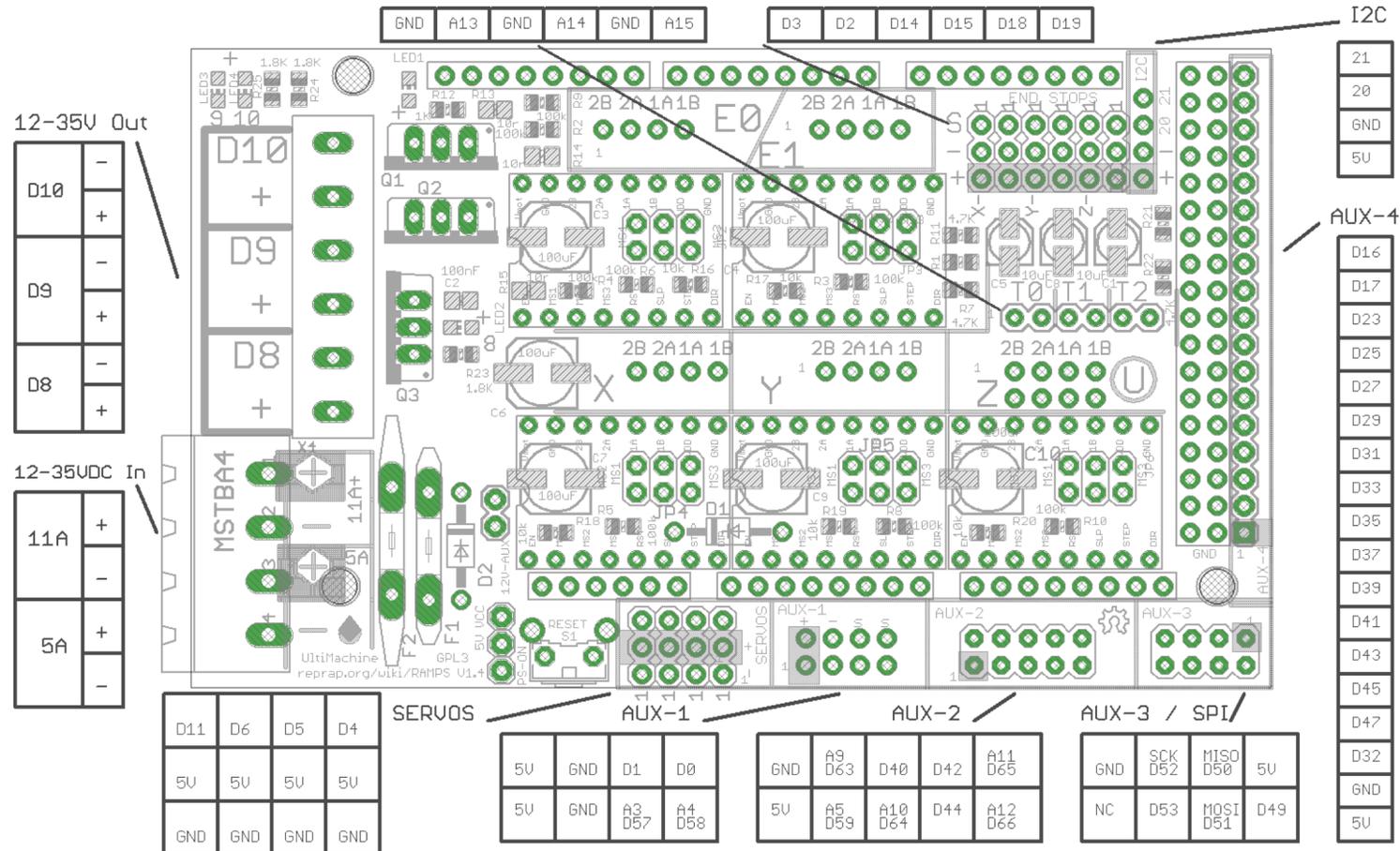


# ...и принципов работы и настройки RAMPS и **Marlin**

RAMPS 1.4 (RepRap Arduino MEGA Pololu Shield)  
[reprap.org/wiki/RAMPS1.4](http://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, a code editor window titled "Редактор" shows the SCAD script for a yellow rectangular plate with four holes. The script includes a `base()` module definition and a `union()` operation to create the plate with holes. On the right, a 3D rendering window titled "MailRu.scad" shows a perspective view of the yellow plate with four holes. Below the 3D view is a console window titled "Консоль" displaying technical specifications for the rendered object.

```
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 }
```

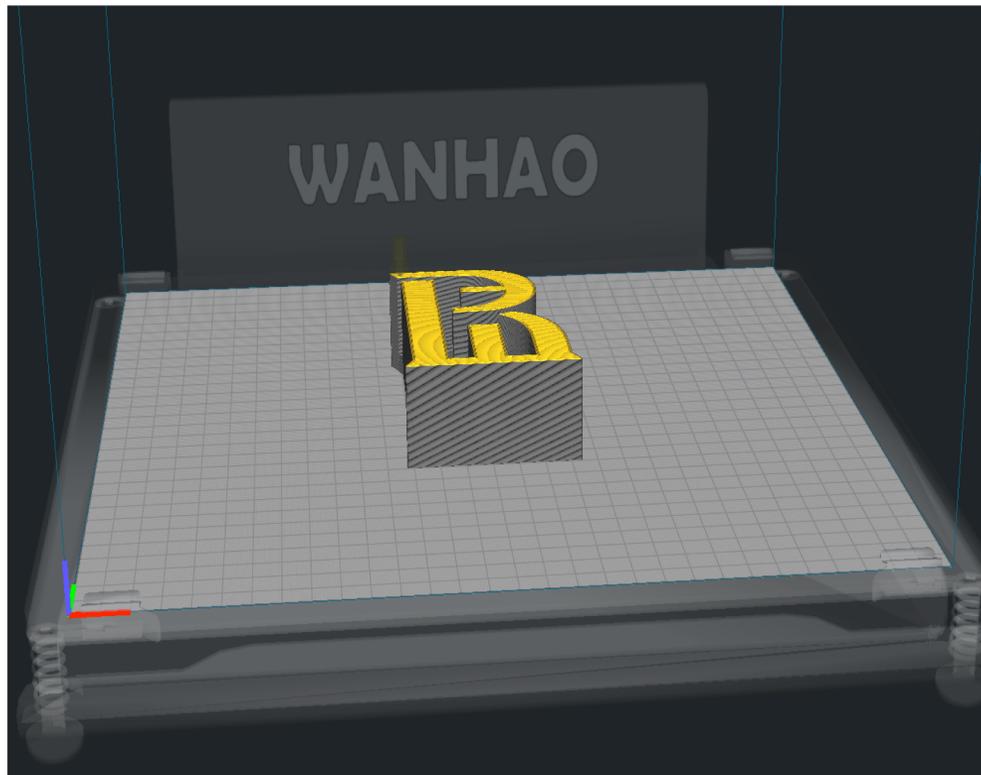
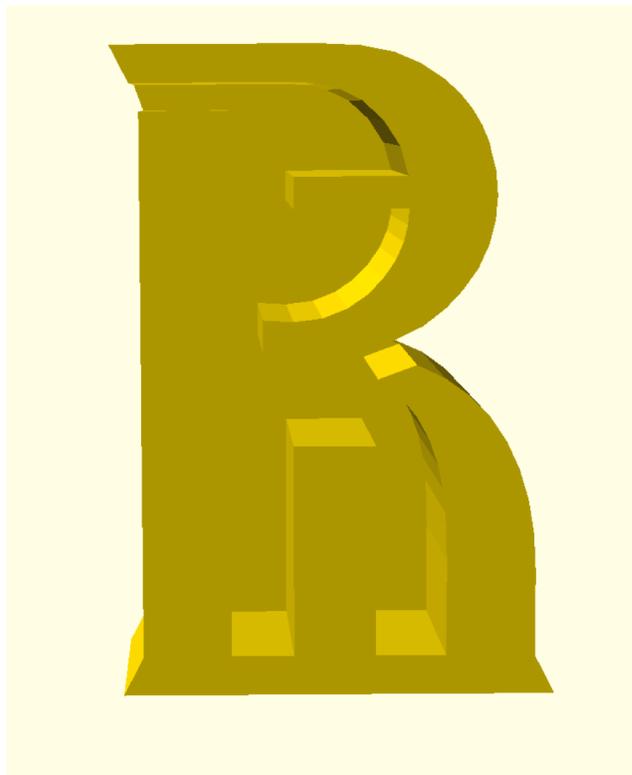
Обзор: translate = [ -0.00 -0.00 -0.00 ], rotate = [ 185.20 0.00 200.00 ], distance = 794.99

Консоль

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.



# 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!

