

Управление образования города Пензы  
МКУ «Центр комплексного обслуживания и методологического обеспечения учреждений  
образования» г. Пензы  
муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение  
средняя общеобразовательная школа № 50 г. Пензы  
XXVI научно-практическая конференция школьников города Пензы «Я исследую мир»

## **Левитатор**

Выполнил:

Рожков Егор, Курносов Андрей

МБОУ СОШ № 50,7 «А» класс

Руководитель:

Анисимов Сергей Анатольевич,

учитель физики, МБОУ СОШ № 50

г. Пенза, 2021

## Оглавление

<b>1. Введение</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Теоретическая часть</b> .....	<b>5</b>
Стойчая звуковая волна .....	5
Левитация предметов .....	6
<b>3. Практическая часть</b> .....	<b>7</b>
Схема установки.....	7
Эксперимент .....	8
Наблюдение левитации .....	8
<b>4. Результаты работы</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Список литературы</b> .....	<b>11</b>
<b>6. Приложение</b> .....	<b>12</b>

*Пытливость ума – это стремление познать то или иное явление с разных сторон.*

## 1. Введение

В современном мире мы часто встречаем много непознанного и необъяснимого. Особый интерес нашего общества вызывают загадки ушедших цивилизаций. А когда встречается что-то новое, непонятное, сложное, требующее разъяснения, понимания, **сразу появляются вопросы**: «Как это устроено?», «Почему такое может быть?», «Можно ли это применять; где и как?» Однажды в интернете мое внимание привлекли фотографии многотонных мегалитов, уложенных вертикально в виде отвесной стены. И это высоко в горах, на вершине (**Приложение 1**). Затем меня заинтересовал отрывок из книги Дэвида Хэтчера Чайлдреса «**Антигравитация**», суть которой в том, как на Тибете 200 монахов, с помощью только молитвы, барабанов и труб, смогли переместить громадный камень на высоту 250 м от земли по дугообразной траектории. Причем размеры камня: **1м х 1м х 1.5м** (**Приложение 2**).

**Гипотеза:** Я предположил, что преодоление гравитации возможно в домашних условиях. Из книги «**Гравитация. Почему яблоко всегда падает на землю?**» я узнал, что существует гравитация, то есть земное тяготение. Закон о земном притяжении сформулировал великий английский ученый Исаак Ньютон.

Но, оказывается, существуют технологии, помогающие преодолеть гравитацию. Из Википедии я узнал, что преодоление гравитации, при котором объект парит в пространстве (*левитирует*), не касаясь поверхности твердой или жидкой опоры, называется **ЛЕВИТАЦИЕЙ**. Левитацией не считается полёт, совершаемый за счёт отталкивания от воздуха, как у насекомых, птиц или рукокрылых.

**Актуальность:** В связи с бурным развитием нанотехнологий с использованием акустической левитации все более актуальной становится возможность перемещать легкие предметы, к которым нельзя прикасаться на производстве электроники или синтезировать и перемещать сверхчистые вещества в такой сфере, как фармацевтика.

**Объект исследования:** акустическая левитация.

**Предмет исследования:** ультразвуковой левитатор, собранный своими руками.

**Цель исследования:** создание установки для наблюдения и изучения акустической левитации.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Познакомиться с явлением акустической левитации;
2. Сформулировать теоретическое описание явления;
3. Собрать установку для наблюдения акустической левитации.

### **Методы исследования:**

- Анализ научной литературы и интернет-ресурсов;
- Сборка установки и экспериментальное изучение наблюдаемых эффектов;
- Исследование возможности установки по следующим параметрам:
  - ✓ вес левитирующего образца,
  - ✓ геометрические размеры левитирующего образца,
  - ✓ влияние материала левитирующего образца на возможности левитации.

Каждый из этих параметров является определяющей характеристикой установки, которые определяют ее возможности и направление применения. Например, зависимость от веса сильно влияет на работу установки и характеристики излучателей, т.к. для большего веса необходимо устанавливать более мощные излучатели.

В нашей работе для наблюдения акустической левитации были использованы два звуковых генератора, работа которых обеспечивалась микросхемой с записанным на неё кодом. Для тестирования установки (подвешивания в стоячей звуковой волне) использовали кусочки пенопласта, бумаги (калька) и вспененного полиэтилена.

## 2. Теоретическая часть

### Стоячая звуковая волна

Звук – физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твердой, жидкой или газообразной среде.

Звуковая волна – упругая волна с частотой от 16 Гц до 20000 Гц, воспринимаемая человеческим ухом. Существует мнение, что ультразвуковая акустическая левитация испускает очень громкие звуковые волны, которые пагубно влияют на органы слуха человека. Но в действительности звук генерируется на частоте свыше 20000 Герц, т.е. в той зоне частот, которые не улавливаются человеческим ухом и не наносят никакого вреда для организма.

Скорость распространения звуковой волны – это расстояние, на которое распространяется область сжатия или область разряжения волны за единицу времени. Обозначается эта величина буквой  $v$ . Выражение для скорости звуковой волны через длину волны и её частоту имеет вид:

$$v = \lambda \cdot f.$$

Для волны с частотой  $f$ , периодом  $T$  и скоростью  $v$  распространения формула длины волны имеет вид:

$$\lambda = v \cdot T = v / f.$$

*Звуковая волна* - это механическое колебание, передающееся во времени. Если напротив источника звуковой волны расположить отражатель на расстоянии равном кратному целому числу полуволн, то образуется *стоячая звуковая волна* и происходит интерференция отраженной и бегущей волны, на границе которых возникнет либо узел, либо пучность.

*Пучность* - это точка максимальной амплитуды, а *узел* - точка с амплитудой равной нулю. Именно тогда, когда вещество попадает в узел (фокус), оно начинает «зависать» в воздухе.

Акустическая левитация частицы происходит в узлах волны, поэтому именно в них была исследована энергия. В узлах волны наблюдаются так называемые *потенциальные ямы*.

Давление в этих точках постоянно, и около них располагаются левитирующие тела (**Приложение 3**). Подъёмная сила возникает за счёт разности давлений, действующих на тело снизу и сверху.

### Левитация предметов

Акустическая гравитация является перспективным направлением исследований в практической технологической сфере, так как она почти не зависит от используемых в работе материалов, что снижает стоимость экспериментов. С другой стороны, пока что не удаётся достигнуть звуковой левитации с предметами существенной массы, вес которых исчисляется килограммами и более. Для удержания в состоянии невесомости материальных объектов в данном случае требуются сильные звуковые волны. Поэтому *акустическая левитация* пока что не слишком устойчива - если поместить в стоячую волну достаточно массивный предмет, то для его поддержания потребуются столь мощные звуковые волны, что их интенсивность может просто разрушить объект.

Группа ученых из Университета Сан-Паулу представили свою методику акустической

левитации в журнале Applied Physics Letters. Исследователям удалось поднять в воздух пенопластовый шарик, который в 3,6 раза превышает по размеру длину волны (диаметр шарика составляет 50 мм, длина волны — 14 мм).

Исследователи из Бристольского университета (Великобритания) впервые добились устойчивой акустической левитации для объекта крупнее длины звуковой волны. В эксперименте удалось заставить левитировать шарик из пенополистирола диаметром в 1,6 сантиметра. Во всех предыдущих опытах по акустической левитации с трудом удерживали объекты диаметром даже в миллиметр-другой. Размер левитировавшего объекта в этом эксперименте в 1,88 раза длиннее звуковых волн, использованных в эксперименте.

Исследователи Швейцарии смогли не только поочерёдно вращать в различных направлениях зависшую зубочистку, но и добиться соединения в один ком твёрдых частиц и слияния в одну большую каплю нескольких маленьких капель воды.

Однако пока поднять объект в воздух можно только в неподвижном режиме. Со временем ученые планируют поднимать в воздух более крупные объекты разной формы.

В качестве левитирующих объектов мы выбрали сферы из пенопласта, для пробы. Зная их параметры, мы можем оценить давление в узлах стоячей звуковой волны.

Для описания явления акустической левитации запишем второй закон Ньютона:

$$mg + F_d = ma,$$

где  $a = 0$ , т.к. тело находится в равновесии:

$$mg + F_d = 0, F_d = P \cdot S - \text{сила давления,}$$

где  $S$  – площадь половинки сферы равна:

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2.$$

Для вычисления массы груза воспользуемся формулой:

$$m = \rho V, \text{ где } V = 4/3 \pi r^3.$$

Теперь, можем найти давление звуковой волны, необходимое для поддержания левитации сферы из пенопласта:  $P = -\frac{mg}{S} = -2/3 \rho r g$

(минус в формуле показывает, что сила давления должна быть направлена против силы тяжести).

### 3. Практическая часть

#### Схема установки

В нашей работе мы собрали и использовали установку, создающую стоячую звуковую волну. Это устройство работает с использованием двух ультразвуковых датчиков, расположенных друг против друга.

Во время работы они создают две одинаковые по амплитуде и частоте, но противоположные по направлению волны. В сумме эти волны образуют стоячую звуковую волну. Такая волна имеет неподвижные точки, в которых давление волны всегда равно атмосферному. В других частях волны амплитуда давления постоянно меняется.

Именно наличие неподвижных точек и дает название стоячим волнам. Такие точки называются узлами стоячей волны, а точки, где достигается максимальная амплитуда давления, называются пучностями.

Размещая звукогенераторы на правильном расстоянии от преобразователя, акустический левитатор создает стоячую волну. Когда ориентация волны параллельна силе тяжести, части стоячей волны имеют постоянное давление вниз, а другие - постоянное давление вверх. Помещая между ними какой-то небольшой легкий предмет, мы можем наблюдать левитацию.

Экспериментальная установка представлена на фото (**Приложение 4**).

Электронная схема представлена в **Приложении 5**. Она состоит из платы Arduino Uno (отмечена буквой А), драйвера моторов МХ1508 (отмечен буквой В), и двух звукогенераторов (отмечены буквой В). Схема питается от блока питания (12В, 2А). Между собой все элементы схемы соединены проводами Dupont.

Ультразвуковой датчик передает акустическую волну на частоте от 25 кГц до 50 кГц. Эти ультразвуковые волны создают стоячие волны с узлами и пучностями. Рабочая частота данного ультразвукового преобразователя составляет 40 кГц.

Для реализации работы звукогенераторов на плату Arduino Uno записан следующий код (**Приложение 6**).

Цель использования Arduino состоит в том, чтобы генерировать высокочастотный колебательный сигнал 40 кГц для ультразвукового датчика или преобразователя, и этот импульс подается на вход ИС драйвера двигателя для управления ультразвуковым преобразователем. В результате ультразвуковой преобразователь производит акустические звуковые волны.

Итак, для изготовления звукогенератора сначала нужно демонтировать ультразвуковые датчики. Такие ультразвуковые излучатели используются в датчиках расстояния. Затем нужно снять защитный колпачок и нарастить провода. Дальше отрезаем две пластинки. Сверлим отверстие под винт. Ультразвуковые датчики размещаем на концах пластинок.

Положение ультразвуковых преобразователей очень важно. Они должны быть обращены друг к другу и они должны находиться на одной линии, чтобы ультразвуковые волны могли распространяться и пересекаться друг с другом в противоположных направлениях.

Дальше нужно передать на Arduino код. Используя этот код с помощью таймера и функций прерывания генерируется сигнал 40 кГц на выходные контакты Arduino.

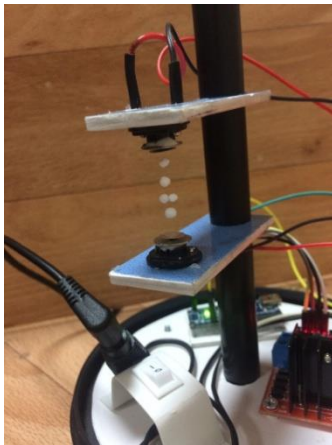
Собираем устройство согласно схеме (**Приложение 5**).

Размещение датчика очень важно, поэтому нужно постараться установить его в правильном положении.

Мощность устройства небольшая и "работать" оно будет только с небольшими легкими предметами, например, бумагой или пенопластом.

## Эксперимент

### Наблюдение левитации



Для наблюдения акустической левитации мы помещали один или несколько кусочков пенопласта между включенными звукогенераторами. Звукогенераторы размещены друг над другом на расстоянии кратном половине длины волны. Эти расстояния подсчитаны по формуле:

$$l = n \lambda / 2 = n v / f \quad (n - \text{целое число}).$$

Скорость звука в нормальных условиях  $v \approx 340$  м/с, а частота звукогенераторов  $\nu = 40$  кГц. Таким образом, в нашем случае:

$$l = n \cdot 8,5 \text{ мм} / 2$$

В ходе экспериментов были зафиксированы следующие результаты:

1. Тела (кусочки пенопласта) действительно левитируют, то есть находятся в воздухе в устойчивом положении между звукогенераторами.
2. Когда между генераторами подвешены несколько кусочков пенопласта, между соседними приблизительно равное расстояние, которое примерно равно вычисленной половине длины волны. Это целиком согласуется с проведенными теоретическими выкладками.

Оценим силу тяжести тела в звуковой волне. Для этого оценим массу левитирующих грузиков и воспользуемся формулами из раздела 2.3.

Средний диаметр кусочков пенопласта, использованных в работе  $d \approx 1,5$  мм, диаметр кусочка, который мы используем  $d = 4$  мм.



Плотность пенопласта составляет:  $\rho = 16.3$  кг/м<sup>3</sup>. Таким образом, приблизительная масса одного кусочка пенопласта составляет:

$$m = \rho V = \rho \pi d^3 / 6 = 0,00055 \text{ г} = 55 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$$

Тогда сила тяжести такого шарика в воздухе равна:

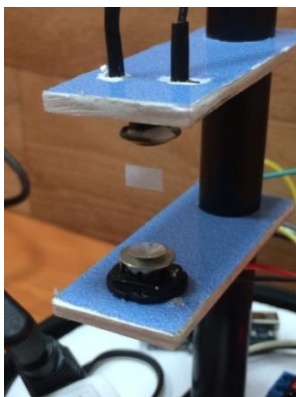
$$F_T = mg = 55 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$$

Рассчитаем приблизительную массу и силу тяжести левитирующего кусочка пенопласта в форме параллелепипеда с размерами: 9мм \* 8.5мм \* 1мм.

$$m = \rho V = \rho a b h = 0.00124 \text{ г} = 124 \cdot 10^{-8} \text{ кг}$$

Тогда сила тяжести такого параллелепипеда в воздухе равна:

$$F_T = mg = 124 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$$





В ходе следующего эксперимента мы изучали способность пенопластового шарика левитировать в стоячей звуковой волне в зависимости от расстояния между звукогенераторами. Для этого мы подвешивали грузик в звуковой волне, а потом медленно увеличивали расстояние между звукогенераторами, в результате чего в какой-то момент грузик переставал левитировать и падал вниз.

В другой части этого эксперимента мы сначала фиксировали расстояние между звукогенераторами, а потом подвешивали шарик в узлах звуковой волны. В ходе экспериментов были зафиксированы следующие результаты:

1. Если расстояние между звукогенераторами достаточно маленькое (порядка 3см), то шарик левитирует практически в любом узле стоячей звуковой волны. Если же расстояние большое (порядка 5-6см), то шарик может левитировать в нижних узлах звуковой волны.

2. Если расстояние между звукогенераторами слишком большое (порядка 8 см), то шарик вообще не левитирует.

Полученные результаты подтверждают тот факт, что звуковая волна действительно затухает.

#### 4. Результаты работы

Различные методы физической левитации используются уже давно и по мере развития техники они становятся все более и более распространенными в самых разных сферах. Быть может, именно левитация поможет нам в изучении других планет или самых отдаленных морских глубин, а транспорт на магнитной подушке станет более комфортной и экологически чистой заменой уже существующим сейчас средствам передвижения. Научный прогресс стал столь стремительным, что мы давно перестали удивляться бесконечным техническим новинкам. Однако всегда следует помнить, что именно мы, увлеченные своим делом люди, двигаем его вперед. Поэтому не стоит останавливаться на достигнутом, мириться с невозможным; ведь невозможное – возможно, а возможным его делаем мы.

В данной работе была рассмотрена акустическая (звуковая) левитация, способность веществ левитировать, благодаря звуковой волне, а также возможность переноса вещества с помощью левитации.

Акустическая левитация небольших объектов считается перспективной для ряда особо чистых производств, типа той же электроники. Там часто нужно перемещать по производственному помещению фрагменты полупроводниковых небольших размеров. Любые твёрдые манипуляторы могут повредить фрагмент или занести на него пыль — еще до того, как на него нанесут защитное покрытие. Звуковая левитация поможет избежать этого. Как полагают исследователи, их новый подход к левитации позволяет поднять в воздух объекты ещё больших размеров — вплоть до человека.

Возможно, в обозримом будущем акустическая левитация сможет заменить магнитную, которая сегодня активно применяется для создания оригинального дизайна различных устройств, в том числе акустических систем и проигрывателей винила. Не исключено, что когда-нибудь человечество увидит и мощный акустический tractor beam (как в Ascendancy), способный фиксировать и перемещать действительно крупные объекты.

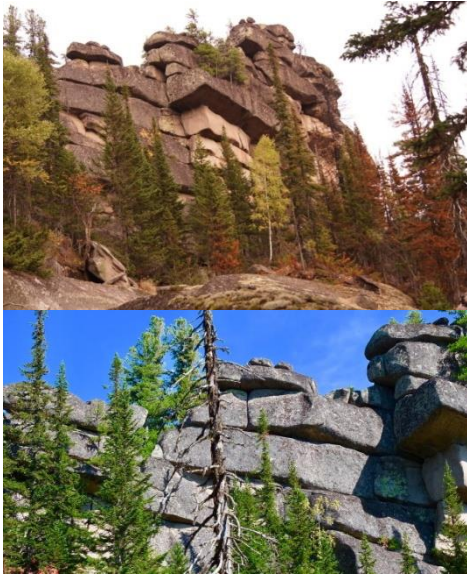
В результате работы мы:

1. Сформулировали теоретическое описание наблюдаемых эффектов.
2. Собрали и запустили установку для наблюдения акустической левитации.
3. Провели ряд экспериментов, подтверждающих справедливость наших теоретических выкладок.

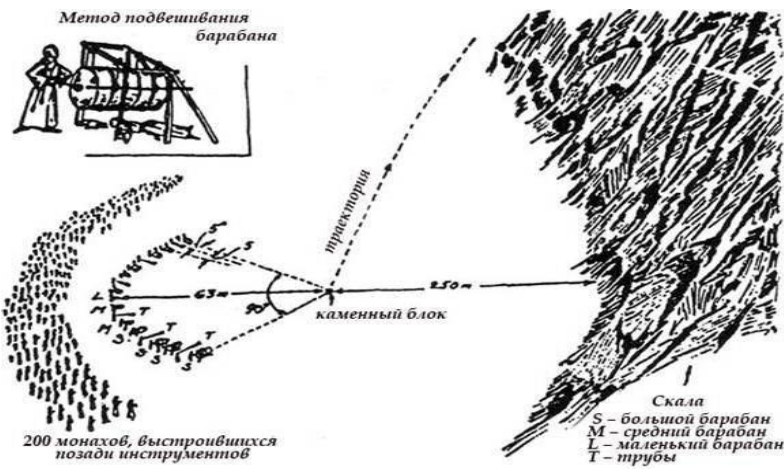
## 5. Список литературы

1. Т.И. Трофимова Курс физики: Уч. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
2. Физическая энциклопедия. В 5-ти томах. – М.: Советская энциклопедия. Главный редактор А. М. Прохоров. 1988.
3. М.А. Исакович «Общая акустика», издательство «Наука», 1973г.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики ( в трех томах): Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1979
5. Г.С. Горелик, «Колебания и волны, введение в акустику, радиофизику и оптику», издание второе, Государственное издательство физико- математической литературы, 1959г.
6. Акустическая левитация [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.metodolog.ru/01346/01346.html> (Дата обращения 18.01.2021)
7. Дэвид Хэтчер Чайлдрес, «Антигравитация» [Электронный ресурс]
8. «Гравитация. Почему яблоко всегда падает на землю?» [Электронный ресурс]

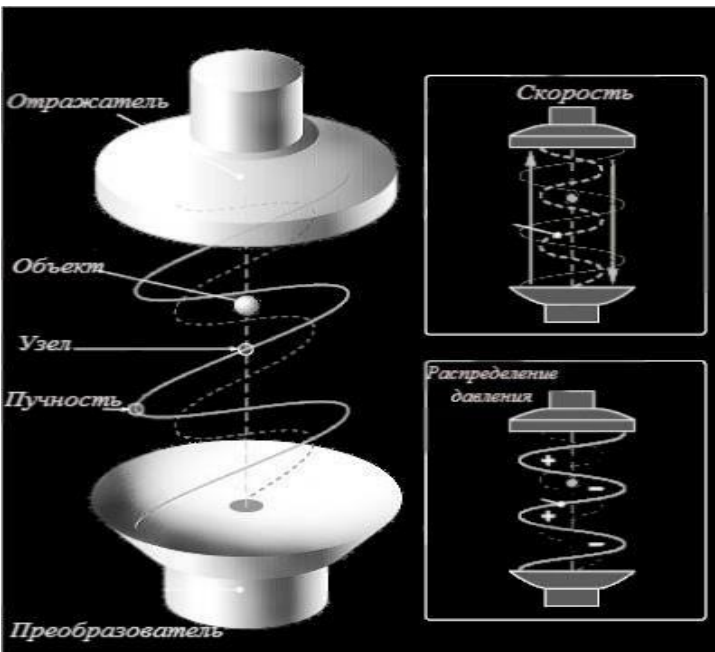
## 6. Приложение



Приложение 1

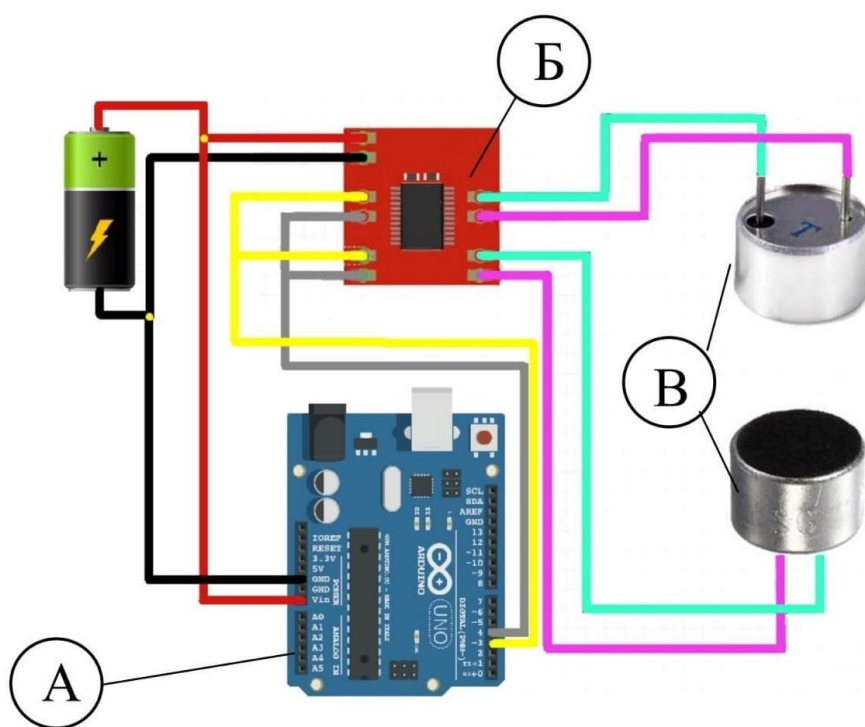
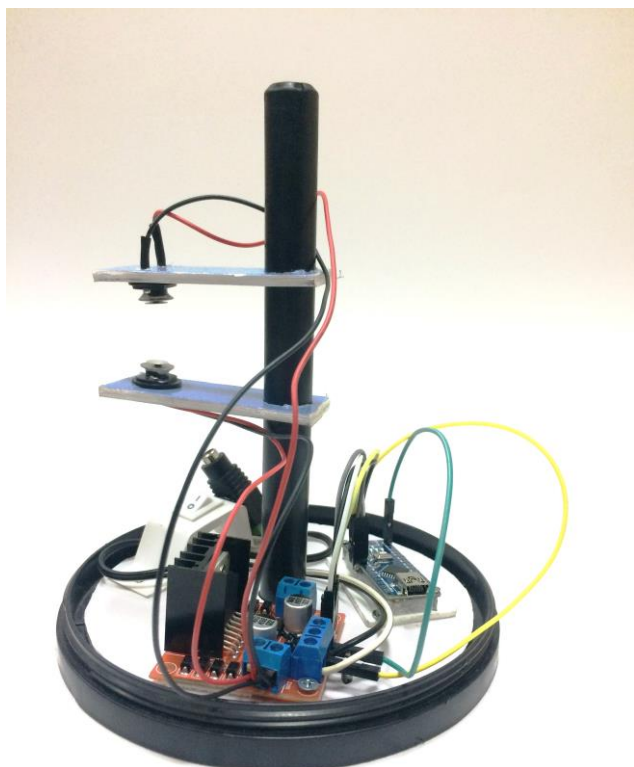


Приложение 2



Приложение 3

Приложение 4



Приложение 5

```
volatile uint8_t portD3_D4 = 8; // единица на D3 и ноль на D4

void setup()
{
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);

    // Инициализируем Timer1
    TCNT1 = 0;
    TCCR1A = 0;
    TCCR1B = 0;
    OCR1A = 199; // Установить регистр сравнения 16 МГц / 80 кГц = 200
    TCCR1B = (1 << WGM12) | (1 << CS10); //Устанавливаем режим СТС, без
делителя
    TIMSK1 |= (1 << OCIE1A); // Включить прерывания таймера
}

void loop () {}

ISR (TIMER1_COMPA_vect) // Обработчик прерывания по таймеру
{
    PORTD = portD3_D4; // Отправляем значения в порт
    portD3_D4 = 255-portD3_D4; // Инвертируем значения для следующей
отправки в порт
}
```