

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino.

Петя Стойкова

Ученик в 9Б клас на Национална търговско-банкова гимназия, София, България

E-mail: petyastoikova@abv.bg

Владимир Христов

Ученик в 9Б клас на Национална търговско-банкова гимназия, София, България

E-mail: vladimirchoh@gmail.com

Нонка Байлова

Учител по Физика в Национална търговско-банкова гимназия, София, България

E-mail: n_bailova@abv.bg

Пламен Д. Трифонов^{1,2}

Консултант по проекта

¹ 8A Tsar Osoboditel Blvd., BG-1000 Sofia, Bulgaria

² 1 Partenii Nishavski Str., BG-1303 Sofia, Bulgaria

E-mail: plamen.trifonov@pisystems.co

Abstract. Изминали са 4 века, от както Галилео Галилей измерва земното ускорение, хвърляйки предмет от високо и измервайки времето на свободното му падане. Днес всеки ученик трябва да знае, че падайки към Земята телата имат ускорение със стойност $9,8\text{m/s}$. Настоящият демонстрационен уред предлага възможност за реализация на експеримента по измерване на земното ускорение в условията на обикновена класна стая, като за прецизен таймер използва развоен микроконтролер Arduino.

PACS numbers: 00.00, 20.00, 42.10

Keywords: Spectrometry, Spectrometer, Diffraction, Wavelength

1. Въведение

От всекидневния опит е ясно, е телата се привличат към Земята. Оставени без опора, те падат към нейната повърхност, като скоростта им нараства. Такова

равнопроменливо движение се нарича *свободно падане*. Ускорението, с което се движат телата при свободно падане, се нарича земно ускорение - g . Ще приемем, че гравитационното привличане към земята е единственият фактор, който определя свободното падане на телата и ще пренебрегнем съпротивлението на въздуха. Важно е да припомним следните факти:

- (i) Земното ускорение е еднакво за всички падащи тела, независимо от тяхната маса, размери и форма.
- (ii) Земното ускорение е постоянно. То не се изменя по време на падането.
- (iii) Ако в началния момент тялото е било в покой, свободното падане се извършва по права линия, вертикално надолу. Направлението на вертикалната линия може да се определи с отвес.

За да измерим ускорението на падащо тяло ни е нужна височина, от която да пуснем предмет с обтекаема форма и начин да измерим с голяма точност времето, за което тялото е изминало пътя си на свободно падане.

2. Необходими материали

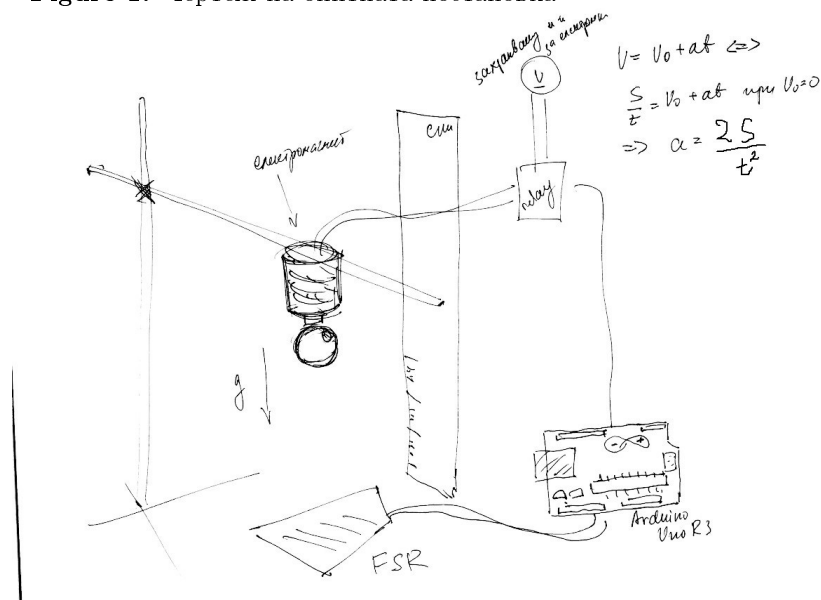
Цялостната реализация на проекта е на цена под 100 български лева, като включва следните материали (повечето, от които могат да бъдат намерени в кабинета по физика).

- Arduino Uno R3 – микроконтролер;
- Метално топче (в нашия случай сачма от лагер с диаметър 5mm.);
- Електромагнит, достатъчно силен, за да привлича металното топче със сила, по-голяма от силата на тежестта, която действа на топчето(в нашия случай, желязна сърцевина с диаметър 1mm и 150 навивки меден проводник със сечение 0,75mm);
- FSR (Force Sensing Resistor) – резистор, който изменя своето съпротивление при натиск;
- Електромагнитно реле SPDT (с един нормално отворен и един нормално затворен контакт) с работно напрежение 5V;
- Резистор 470 Ω ;
- Кондензатор с капацитет между 100nF-1000nF;
- Линия 30 см.;
- Г-образен статив висок минимум 30 см.;
- 9V батерия;
- универсална платка с площ от 45 cm;
- Трипроводна клема;
- Поялник и тинол;

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

- Свързващи проводници;
- Компютър с USB порт;

Figure 1. Чертеж на опитната постановка



3. Конструирание на опитната постановка

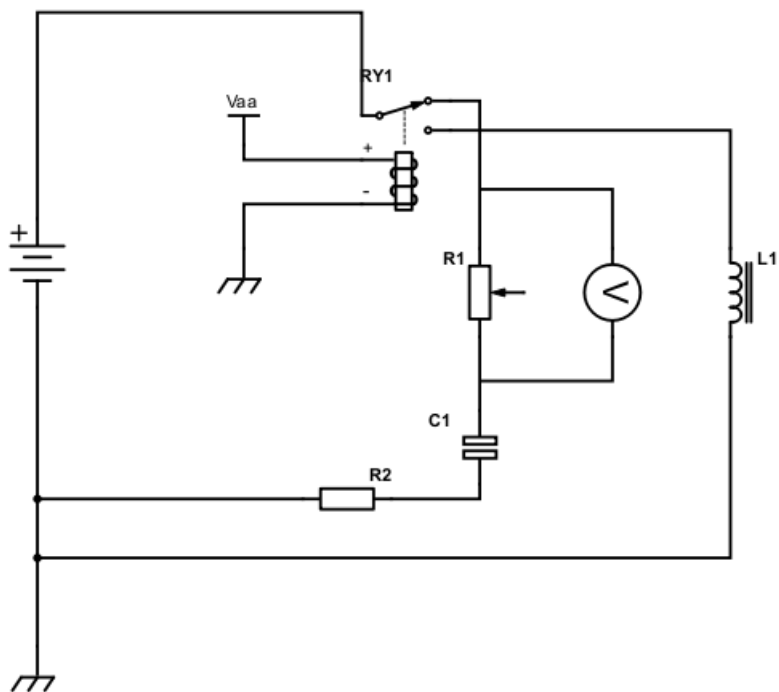
3.1. Как да сглобим уреда?

Посредством тиксо или кабелна превръзка закрепете електромагнита за рамото на статива. Отвесно под електромагнита на твърда и равна повърхост трябва да се закрепят последователно лепило или тиксо сензора за натиск (FSR), на краищата на FSR се запояват два изолирани проводника с дължина 8 cm. Единият извод на сензора за натиск е свързан чрез трипроводната клема за нормално затворения контакт на SPDT релето, а другият е свързан серийно за кондензатор 100nF и резистор 470Ω. и оттам за отрицателния полюс на 9V батерия. На котвата на релето посредством трипроводната клема е свързан директно положителния полюс на батерийния клипс, а на нормално отворения контакт на електромагнитното реле е свързан единият извод на електромагнита. Другият извод на електромагнита се свързва директно към отрицателния полюс на 9V батерия. Програмата, чиито код може да бъде видян в Секция 4 предвижда пиновете за четене на аналогови сигнали да се използват като волтметър и по-специално A0, като това може да е всеки аналогов пин на Arduino, но трябва да бъде сменен и в кода на програмата. Пинът D2, който е дигитален и при логическа единица подава напрежение +5V спрямо земя, а при логическа нула подава напрежение 0V спрямо земя се използва, за тригер на релето, като пинът е свързан към единият край на намотката на електромагнитното реле, а другият му край се свързва към GND (земя), всички

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

тези връзки са схематично представени на фигура 2:

Figure 2. Електрическа схема на опитната постановка



Като R1 е сензорът за натиск, който изменя своето съпротивление под действието на механична сила. R2 е ограничаващ тока резистор със стойност 470Ω , C1 е керамичен кондензатор с капацитет 100nF , а L1 е електромагнита.

3.2. Принцип на работа

Опитната постановка има за цел да определи време то за падане на обекта. Тъй като разстояние (пътя) на свободно падане на предмета е малко - 26cm. времето се очаква да е от порядъка на няколкостотин ms. Ясно е, че такова измерване не може да бъде направено от човек с хронометър в ръка, за това се налага използването на програмируемия микроконтролер Arduino. На Arduino-то ще качим код написан на компютърния език C, чрез който ще определим началния момент на падането на топчето и крайния момент на падането, а разликата между тях ще ни даде времето, за което се е извършило свободното падане на предмета (топчето).

За да стартира експеримента, експериментаторът въвежда команда посредством компютър в Arduino програмата. След като бъде стартиран експеримента програмата указва на Arduino да подаде напрежение 5V към бобината на електромагнитното реле, свързано към пинове D2 и GND, релето затваря веригата, захранваща електромагнита, който се намира на разстояние 27,5 cm от нивото,

на което е разположен сензора за натиск (FSR). Експериментаторът приближава желязното топче до електромагнита и благодарение на създалото се магнитно поле топчето взаимодейства с електромагнита, като се „залепя“ за него. След 10 sec Arduino-то спира подаването на напрежение на краищата на бобината на електромагнитното реле, котвата на релето се връща в позицията си на нормално затворения контакт, електромагнита вече не е захранен и съответно топчето започва своето свободно падане като паралелно с това Arduino стартира таймер, който ще използваме като хронометър, за да отмерим времето, за което топчето изминава разстоянието от 27 cm (самото топче има диаметър от 5mm). Края на отброяването от таймера се определя от сензора за натиск (FSR). FSR или Force sensing resistor е резистор, чието съпротивление при нормални обстоятелства е много високо $>20M\Omega$, но като бъде подложен на натиск това съпротивление намалява, т.е. когато не упражняваме натиск върху този сензор, неговото съпротивление е огромно и през него не протича електрически ток. Както се вижда от схемата сензора за натиск е свързан към нормално отворения затворения контакт на релето, а към него успоредно е свързан волтметър, който волтметър всъщност са пиновете A0 и GND на Arduino-то. Съответно, когато топчето пада то указва натиск върху този сензор и той изменя съпротивлението си за момент скокообразно от около $20M\Omega$ става 200Ω . Arduino може да измерва и съпротивление, но му е нужен референтен резистор, чиято стойност да е известна и според това да определи стойността на съпротивлението на FSR. Този подход няма да ни свърши работа, защото е по-бавен, а ние се стремим към точното отчитане на малко време до 6-ти знак след десетичната запетая, вместо това ще измерваме напрежение между единия край на FSR и отрицателния полюс на захранване както е показано на блок схемата. Програмата е направена така, че когато напрежението на определен вход/изход на Arduino-то, напрежението стане по-голямо от 1V (това означава, че FSR е под натиск, защото в противен случай ток изобщо не протича) тя спира таймера, отброяващ времето и това всъщност е крайния момент на свободното падане.

Пътя на свободно падане на топчето измерваме посредством линията.

Така измерването приключва, като са ни налични две величини:

- h – височината, от която пускаме топчето, т.е. пътя S , който топчето изминава;
- t – времето, нужно на топчето да пропътува това разстояние.

Използваме закона за пътя при равноускорително движение, защото свободното падане е именно такава:

$$\Delta S = V_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

Но тъй като нямаме начално ускорение, следва че:

$$\Delta S = \frac{at^2}{2} \quad (2)$$

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

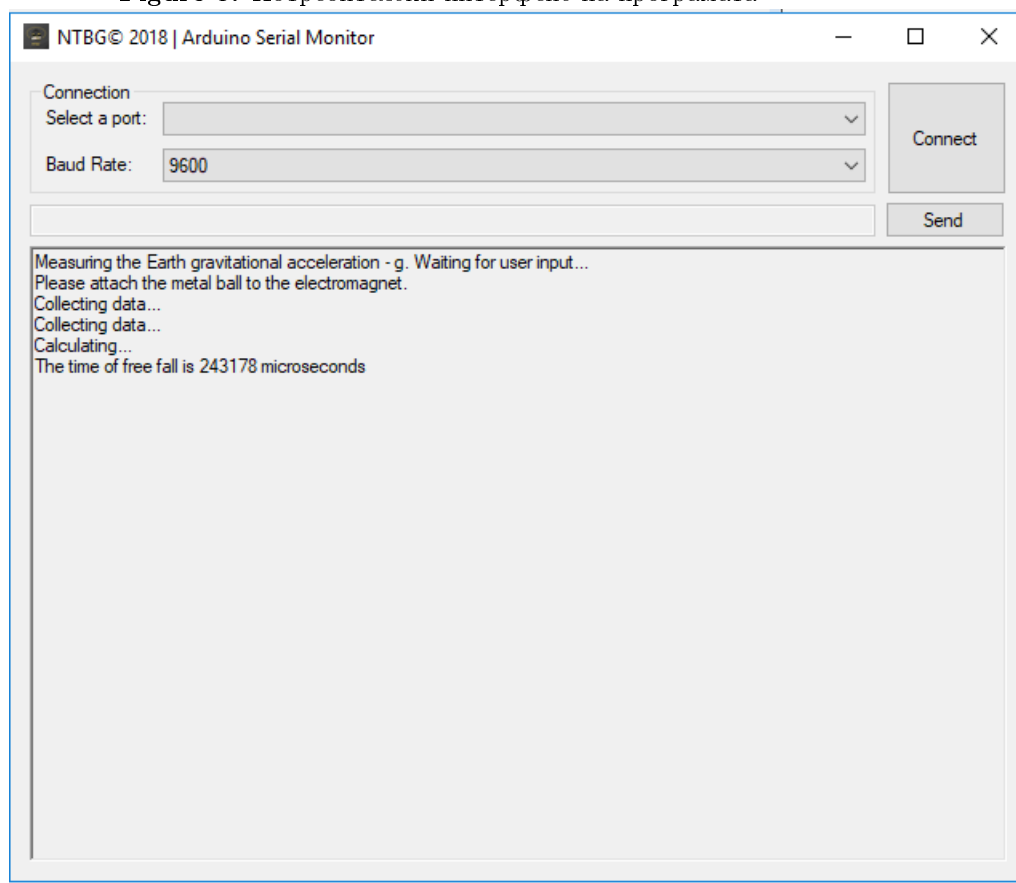
Ще заместим ΔS с Δh и а с g за по-голяма коректност в изписването. Оттук може да извем равенството за g :

$$g = \frac{2h}{t^2} \quad (3)$$

4. Изходни данни

Изходните данни от програмата качена на Arduino се получават по RS232 или USB порт, т.е. чрез серийна комуникация с компютър посредством NTBG2018 Arduino Serial Monitor изпълним файл, специално разработен за експеримента, чийто изходен код може да видите в Секция 5, но управлението и експортирането на данните от Arduino може да стане и чрез, който да е друг сериен монитор като например безплатният PuTTY. Очакваме от Arduino да ни върне стойност за времето на свободно падане в μs . На фигура 3 може да се види резултат от измерване изведен в програмата за управление:

Figure 3. Потребителски интерфейс на програмата



NTBG2018 Arduino Serial Monitor е winforms програма реализирана чрез VB.NET.

В таблица 1 са показани резултатите от 5 последователни измервания на земното ускорение:

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

Номер на опита	Височина в метри	Време в sec	Резултат за g
1	0,395	0.285489	9.692779487
2	0,395	0.284989	9.726820388
3	0,395	0,284195	9,7812
4	0,395	0.285575	9.686942467
5	0,395	0.283759	9.81132815

Опитите са направени при използването на едно и също топче.

5. Изходни кодове

5.1. Код на програмата качена върху Arduino с основната логика и правещата калкулациите

```
//NTBG 2018 – Measuring the Earth Acceleration
//
//
//An experiment for the International competition – Devices for the physics
//
//

int pinRelay = 2;
int sensorValue = 0;

void setup()
{
  //D2 – RelayPin
  //A0 – VoltmeterPin
  pinMode(pinRelay , OUTPUT);
  pinMode(A0, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Measuring the Gravitational acceleration constant – g");
  Serial.println("Ready ... ");
}

char rx_cmd = 0;

void loop()
{
  long timerInit; //Marks the begining of the free fall
  long timerStop; //Marks the end of the free fall
```

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

```
long gTime;

if (Serial.available())
{
  rx_cmd = Serial.read();
  if (rx_cmd == 's')
  {
    rx_cmd = 0;
    digitalWrite(pinRelay, HIGH);
//The relay is on and powers up the electromagnet
    Serial.println("Please attach the metal ball to the electromagnet.");
    delay(10000);
//Waits 10 s. for the user to attach the metal ball
    digitalWrite(pinRelay, LOW);
//The relay and the electromagnet is off
    timerInit = micros();

    do {
      sensorValue = analogRead(A0);
      Serial.println("Collecting data ...");
    } while (sensorValue < 1000);

    timerStop = micros();
    gTime = timerStop - timerInit;
    Serial.print("The time of free fall is: ");
    Serial.print(gTime);
    Serial.print(" microseconds");
  }
  Serial.end();
}
}
```

5.2. Код на програмата за управление от потребителя

```
Imports System.IO.Ports
Public Class Form1
  Private Sub Form1_Load(sender As Object, e As EventArgs) Handles MyBase.

    Windows.Forms.Control.CheckForIllegalCrossThreadCalls = False
```


Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

```
Try
    For Each port As String In SerialPort.GetPortNames()
        ComboBox1.Items.Add(port)
    Next
    'ComboBox1.SelectedIndex = 0
    ComboBox2.SelectedItem = "9600"
Catch ex As Exception
    MsgBox("Operation failed with error: " & ex.Message)
    Button1.Enabled = False
End Try

End Sub

Private Sub Button1_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles Button1.Click
    If Button1.Text = "Connect" Then
        SerialPort1.BaudRate = Val(ComboBox2.SelectedItem)
        SerialPort1.PortName = ComboBox1.SelectedItem
        Try
            SerialPort1.Open()
            Button1.Text = "Disconnect"
            TextBox1.Enabled = True
            GroupBox1.Enabled = False
            tmrConnTime.Enabled = True
            tmrConnTime.Start()
        Catch ex As Exception

        End Try
    Else
        SerialPort1.Close()
        TextBox1.Enabled = False
        GroupBox1.Enabled = True
        Button1.Text = "Connect"
    End If

End Sub

Private Sub TextBox1_KeyDown(sender As Object, e As KeyEventArgs) Handles TextBox1.KeyDown
    If e.KeyCode = Keys.Enter Then
        Try
            SerialPort1.Write(TextBox1.Text)
            TextBox1.Clear()
        Catch ex As Exception
```

Измерване на земното ускорение g в условията на училищната лаборатория, с помощта на Arduino

```
                MsgBox(" Operation failed with error: " & ex.Message)
            End Try
        End If
    End Sub

    Private Sub SerialPort1_DataReceived(sender As Object, e As SerialDataR
        RichTextBox1.Text &= SerialPort1.ReadExisting()
    End Sub

    Private Sub btnSend_Click(sender As Object, e As EventArgs) Handles btn
        Try
            SerialPort1.Write(TextBox1.Text)
            TextBox1.Clear()
        Catch ex As Exception
            MsgBox(" Operation failed with error: ", ex.Message)
        End Try

    End Sub

    Private Sub RichTextBox1_TextChanged(sender As Object, e As EventArgs)

    End Sub
End Class
```

References

- [1] [Michael Fowler, UVa Physics Department, Galileo's Acceleration Experiment](#)
- [2] [Arduino Language Reference](#)
- [3] [FSR Specs and characteristics](#)