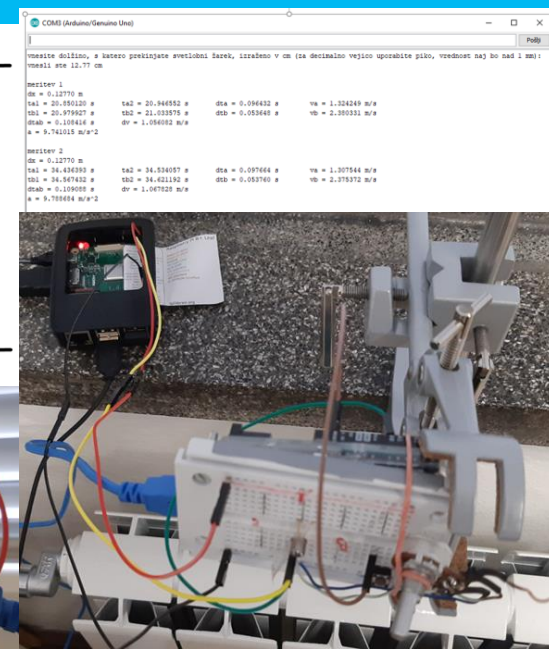
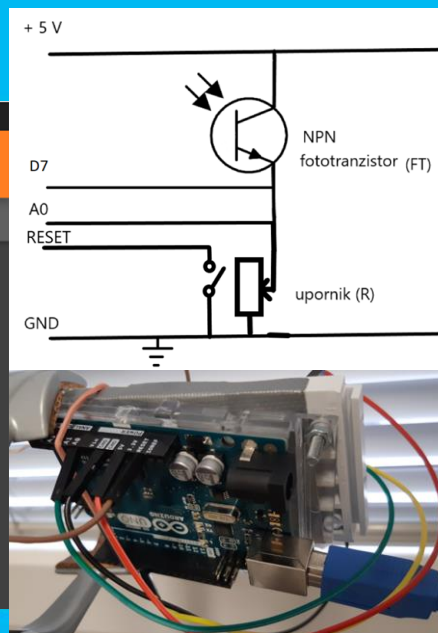
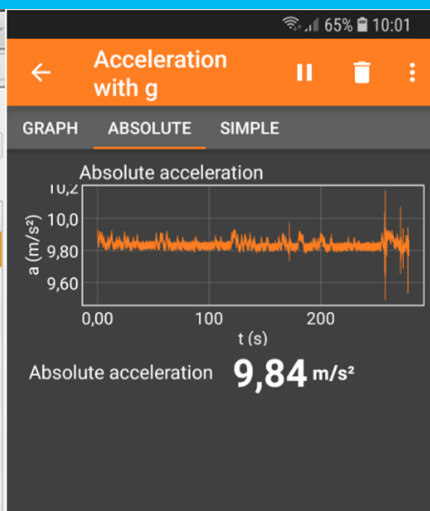
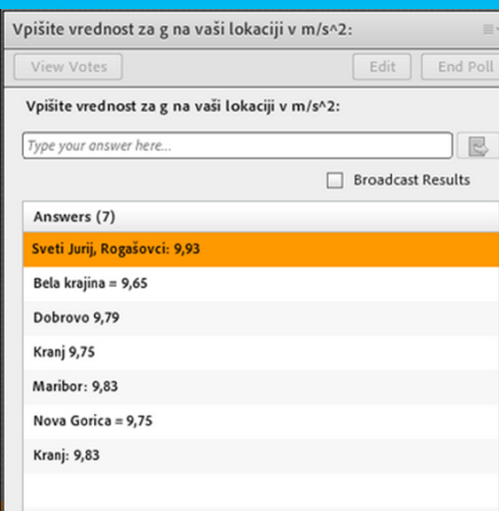


Izobraževanje za učitelje fizike

RAČUNALNIŠKO PODPRTA MERJENJA POSPEŠKA



webinar 5. 12. 2018, vox in spletna učilnica ŠS-FIZ-OŠ
Jaka Banko, Goran Bezjak, Milenko Stiplovšek



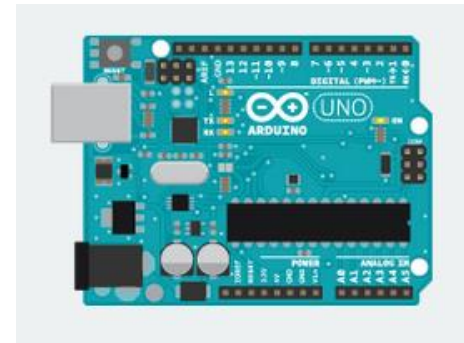
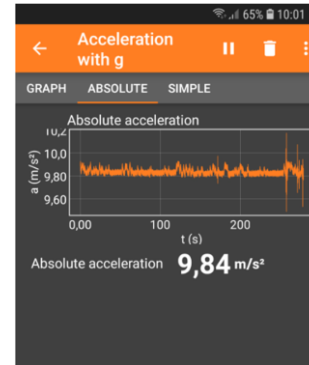
Zavod Republike Slovenije za šolstvo

Trajanje:

Od 14. do 15. ure.

Vsebina:

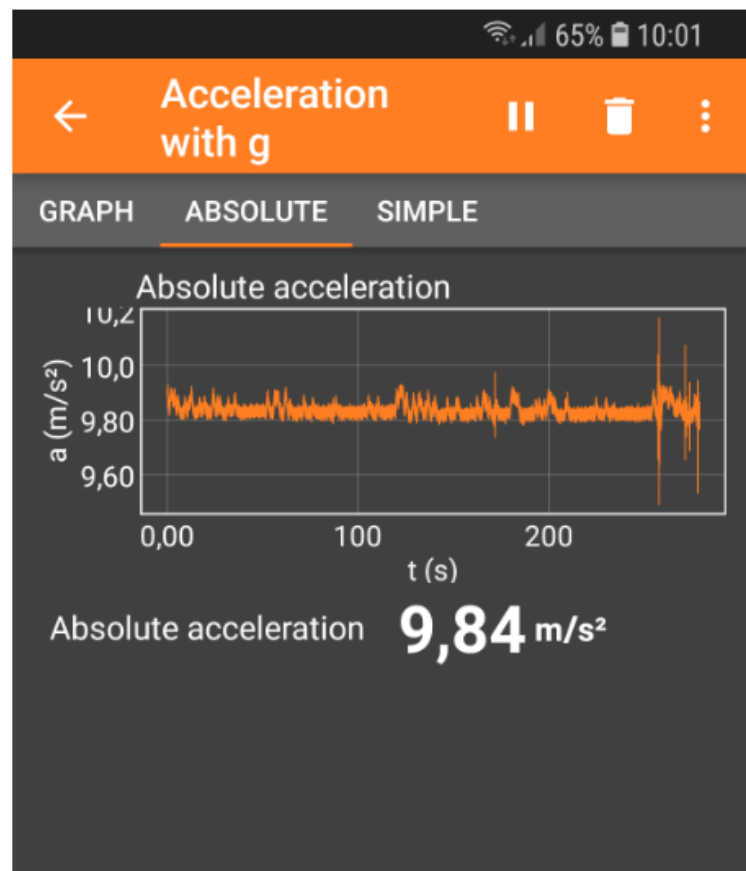
- Pregled in komentar meritev težnega pospeška, narejenih s telefoni ob koncu 1. webinarja.
- O pristopih k računalniško podprtim meritvam pospeška.
- Predstavitev nekaj primerov realizacije različnih pristopov.
- Odgovarjanje na morebitna vprašanja.



Download the Arduino IDE



Pregled in komentar meritev težnega pospeška, narejenih ob koncu 1. webinarja z različnimi telefoni a z isto aplikacijo (phyphox) na različnih mestih v Sloveniji.



The screenshot shows a poll interface in Slovenian. The title is "Vpišite vrednost za g na vaši lokaciji v m/s²:". At the top right, there are three buttons: "View Votes", "Edit", and "End Poll". Below the title is a text input field with the placeholder "Type your answer here..." and a submit button. A checkbox labeled "Broadcast Results" is also present. Below the input field, there is a section titled "Answers (7)". The answers are listed as follows:

- Sveti Jurij, Rogašovci: 9,93
- Bela krajina = 9,65
- Dobrovo 9,79
- Kranj 9,75
- Maribor: 9,83
- Nova Gorica = 9,75
- Kranj: 9,83

Teoretični model:

Težni pospešek g se spreminja z zemljepisno širino [1]

in z nadmorsko višino h :

$$g(h) = g_0 (1 - (2h/r_z)).$$

g_0 je težni pospešek na nadmorski višini 0 m za točko na površini Zemlje, ki je od središča oddaljena za r_z . [2], [3]

Težni pospešek ob morski gladini za različne zemljepisne širine

Širina	Pospešek $\left[\frac{m}{s^2}\right]$	Širina	Pospešek $\left[\frac{m}{s^2}\right]$
0°	9,78030	50°	9,81066
10	9,78186	60	9,81914
20	9,78634	70	9,82606
30	9,79321	80	9,83058
40	9,80166	90	9,83216



Teoretični model za vrednosti g v Sloveniji:

Vpliv geografske širine:

g na nadmorski višini 0 m:

$$g(45^\circ) = 9,80616 \text{ m/s}^2;$$

$$g(47^\circ) = 9,80796 \text{ m/s}^2.$$

Vpliv nadmorske višine:

Dvig na višino 3000 m

zmanjša g za $0,00924 \text{ m/s}^2$.

Za *skrajne vrednosti* dobimo tako $9,79692 \text{ m/s}^2$ in $9,80796 \text{ m/s}^2$ oz.

med $9,80 \text{ m/s}^2$ in $9,81 \text{ m/s}^2$

oz. $9,8 \text{ m/s}^2$.

Vpišite vrednost za g na vaši lokaciji v m/s^2 :

View Votes Edit End Poll

Vpišite vrednost za g na vaši lokaciji v m/s^2 :

Type your answer here...

Broadcast Results

Answers (7)

Sveti Jurij, Rogašovci: 9,93

Bela krajina = 9,65

Dobrovo 9,79

Kranj 9,75

Maribor: 9,83

Nova Gorica = 9,75

Kranj: 9,83

Težni pospešek ob morski gladini za različne zemljepisne širine

Širina	Pospešek $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$	Širina	Pospešek $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$
0°	9,78030	50°	9,81066
10	9,78186	60	9,81914
20	9,78634	70	9,82606
30	9,79321	80	9,83058
40	9,80166	90	9,83216

Meritve g v Mariboru isti dan v istem prostoru s tremi različnimi telefoni in aplikacijo phyphox.

Tri vrednosti za vsak telefon, g v m/s^2 :

Pazljivo ustavljanje meritve

T1: 9,82; 9,76; 9,79;

T2: 9,79; 9,81; 9,84

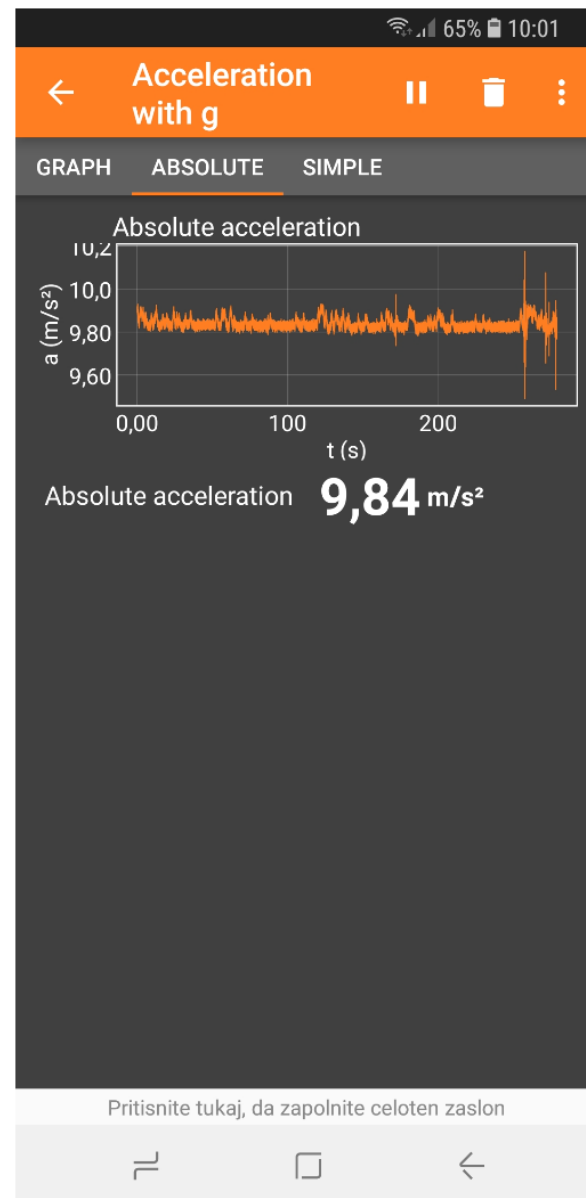
T3: 9,80; 9,79; 9,79

Prostodušno ustavljanje meritve:

T3: 9,65; 9,75; 9,72

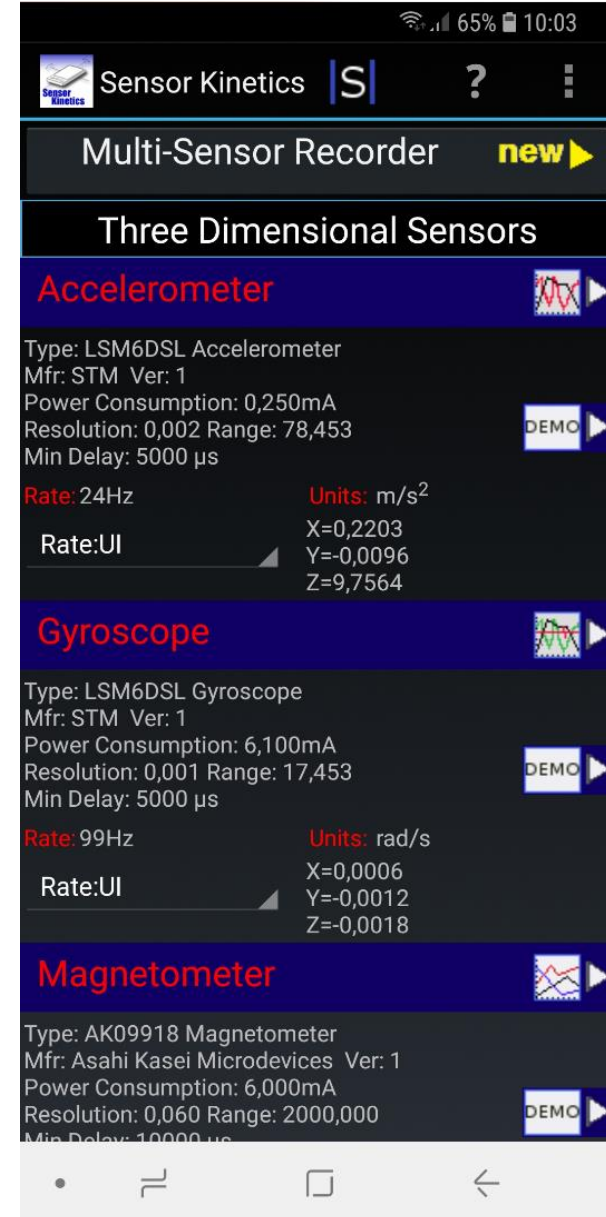
T1: 9,74; 9,68; 9,77

T2: 9,78; 9,74; 9,74



Meritve g v Mariboru isti dan v istem prostoru s tremi različnimi telefoni in z različnimi aplikacijami:

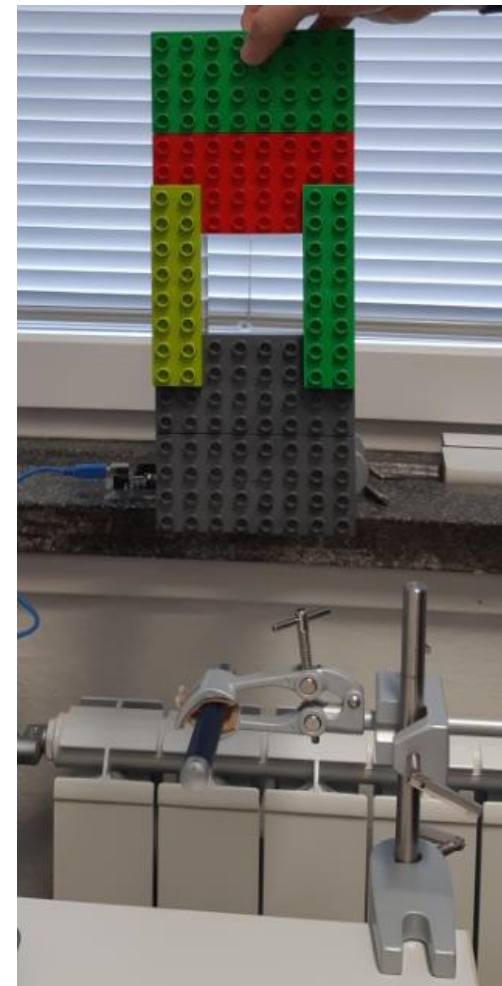
Telefon	phyphox g v m/s^2	Sensor kinetics komponente g v m/s^2	Sensors toolbox komponente g v m/s^2
T4	9,99; 9,97; 9,96	X:0,02; Y:0,01; Z:9,81;	
T2	9,79; 9,80; 9,76	X:0,2394; Y:0,1628; Z:9,7875	
T3	9,85; 9,90; 9,83	X:0,1221; Y:0,0431; Z:9,7588	X:0,13; Y:0,10; Z:9,78;



O pristopih k računalniško podprtim meritvam pospeška:

Pogledali bomo dva principa:

- a) merjenje pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe in
- b) merjenje pospeška s pomočjo odboja valovanja.

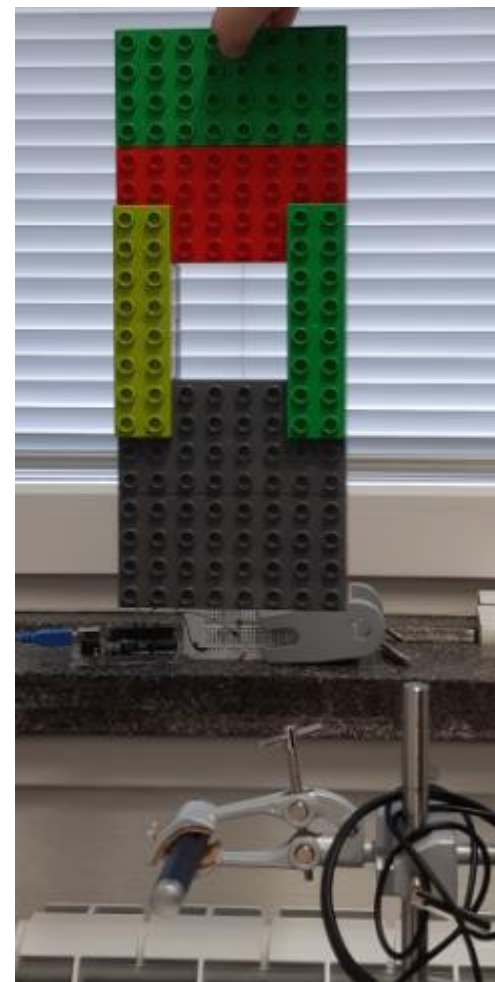


a) Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe:

a1: Predmet („ograjica“) z dvema enako širokima prečkama z znano širino se giblje enakomerno pospešeno in dvakrat prekine svetlobni žarek.

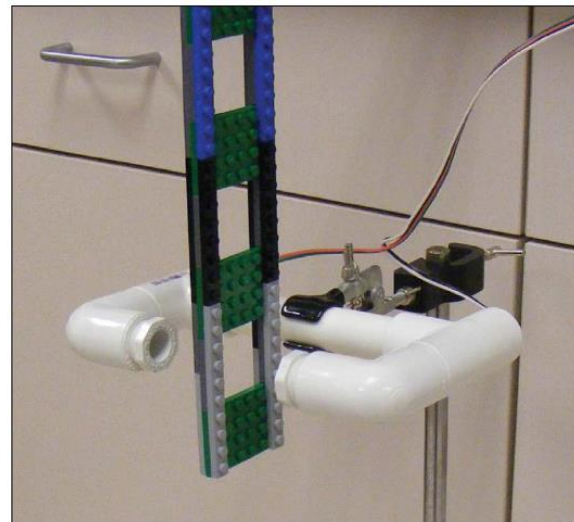
Izmerimo čase ko se spremeni osvetljenost svetlobnega sensorja med prvo prekinitvijo – premikom a. Iz širine prečke in razlike časov izračunamo prvo hitrost v_a . Nato izmerimo čase ko se spremeni osvetljenost svetlobnega sensorja med drugo prekinitvijo – premikom b in izračunamo hitrost v_b .

Pospešek a izračunamo po definiciji: spremembo hitrosti delimo z razliko sredin časovnih intervalov za premik b in za premik a.



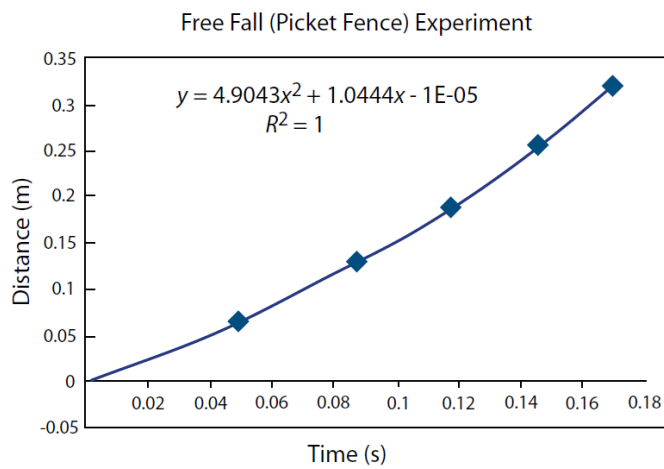
a) Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe:

a2.1: Predmet („ograjica“) z več enako oddaljenimi in enako širokimi prečkami se giblje enakomerno pospešeno in prekinja svetlobni žarek – izvedba z Arduinoom:



Izmerimo čase ko se spremeni osvetljenost svetlobnega senzorja. Iz podatkov o širini prečk in o njihovi oddaljenosti dobimo nekaj vrednosti za lego ograjice v odvisnosti od časa – $y(t)$.

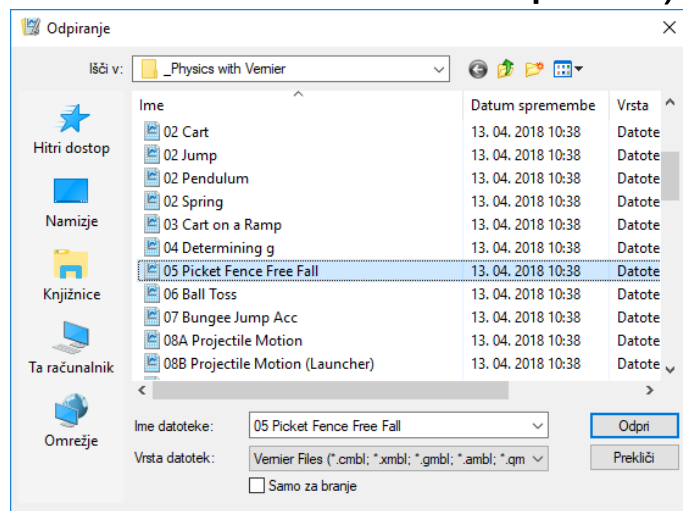
S pomočjo določanja parametrov prilagoditvene funkcije $y(t) = y_0 + v_0 \cdot t + a \cdot t^2 / 2$ lahko določimo pospešek a . Rezultat obdelave meritev na desni sliki nam da $a = 9,8086 \text{ m/s}^2$ za težni pospešek (negotovost rezultata je posebna zgodba). [4]



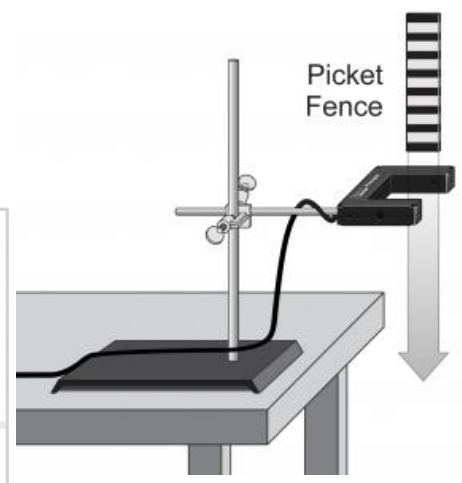
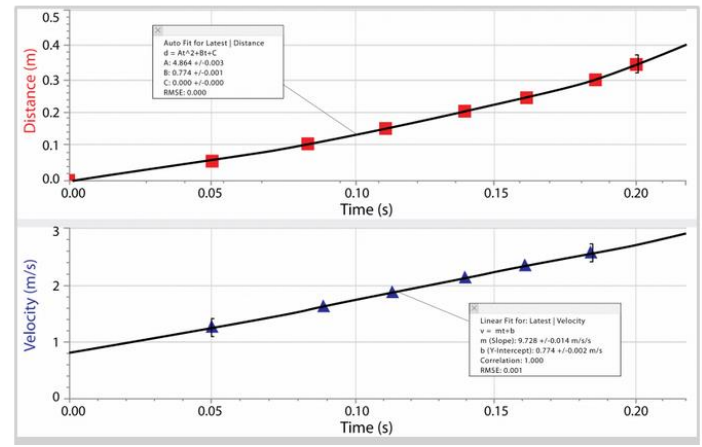
a) Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe:

a2.2: Predmet („ograjica“) z več enako oddaljenimi prečkami se giblje enakomerno pospešeno in prekinja svetlobni žarek – izvedba s svetlobnimi vrati Vernier: [5]

V programu LoggerPro izberemo datoteko 05 Picket Fence Free Fall. Ustrezno ograjico (5 cm razmika med začetki prečk) spustimo skozi



Sample Data



b) Možnosti za merjenje pospeška s pomočjo odboja valovanja:

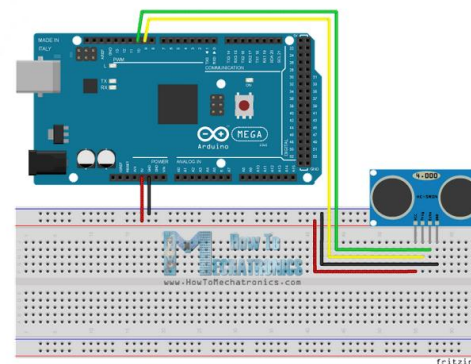
b1: Go!Motion Vernier, [6]



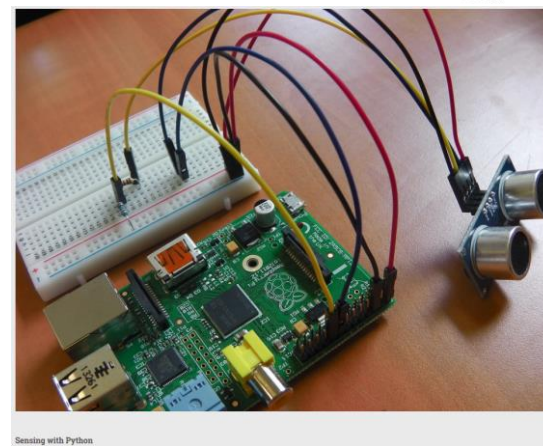
b2: PASPORT Motion Sensor Pasco, [7]



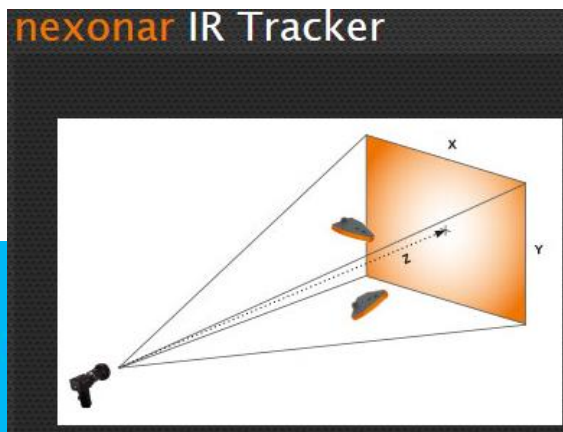
b3: HC-SR04 ultrazvočni senzor in Arduino, [8]



b4: HC-SR04 ultrazvočni senzor in Raspberry Pi [9]

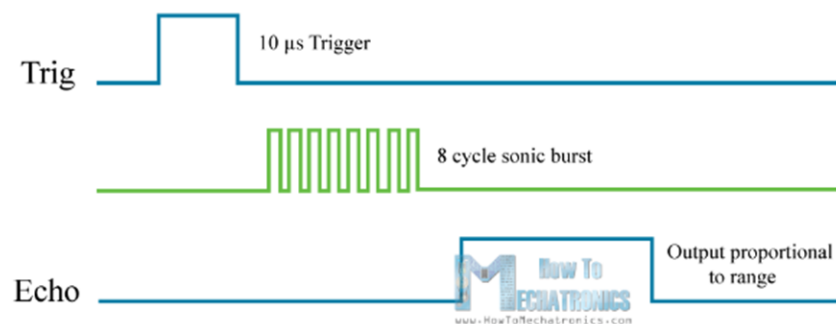
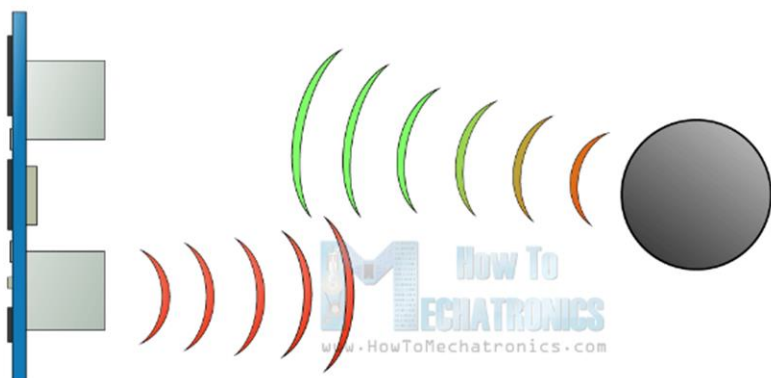


b5: odboj IR svetlobe in sledenje v 3D [10].



Princip merjenja pospeška s pomočjo odboja ultrazvoka:

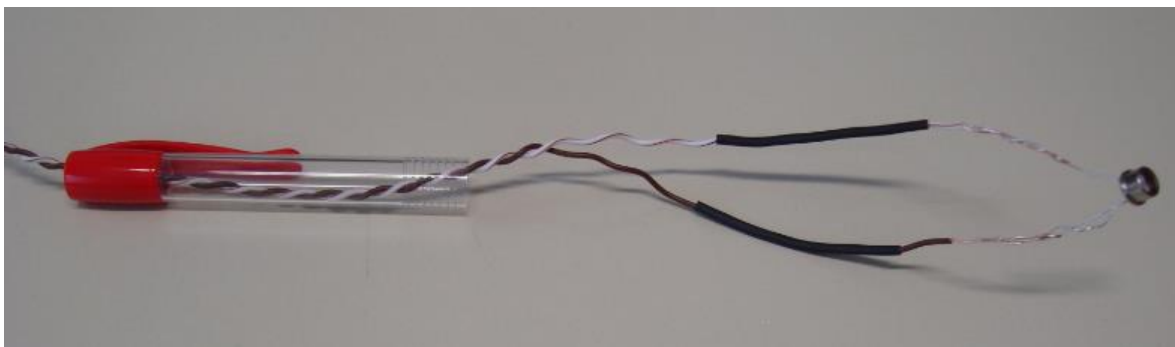
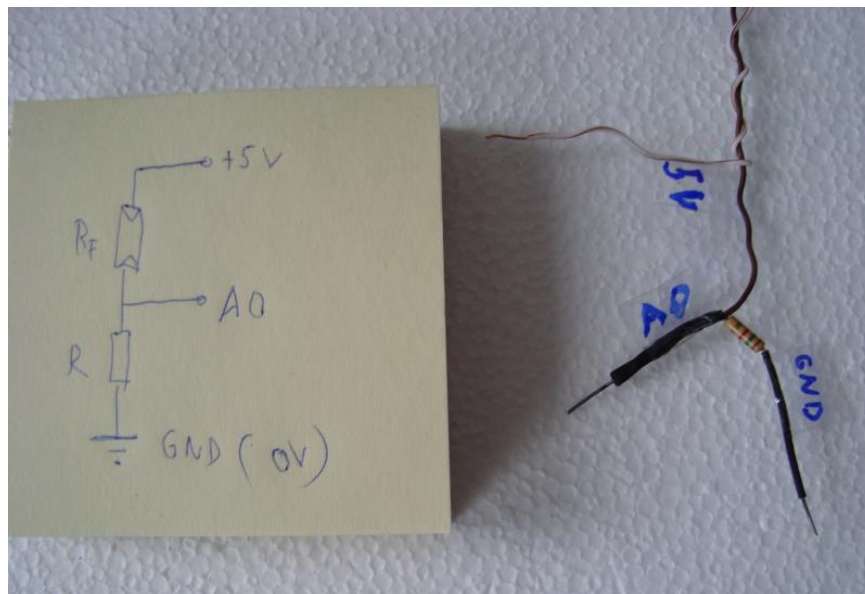
Naprava HC-SR04 ultrazvočni senzor generira paket 8 ultrazvočnih pulzov (40 kHz), ki potujejo do objekta in se od njega odbijejo. Naprava zabeleži čas, ko je paket poslala in čas, ko se je vrnil. Na osnovi časa, v katerem se poslani in od predmeta obiti paket pulzov vrne do naprave, in hitrosti potovanja ultrazvoka v zraku, izračunamo pot paketa. Oddaljenost predmeta od naprave je polovica te poti. Za sproženje pošiljanja paketa 8 ultrazvočnih pulzov mora biti ustrezen digitalni izhod za 10 μ s postavljen na 1 (spodnji sliki). [8]



Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe – podrobneje o izvedbi z mikrokrmilnikom Arduino:

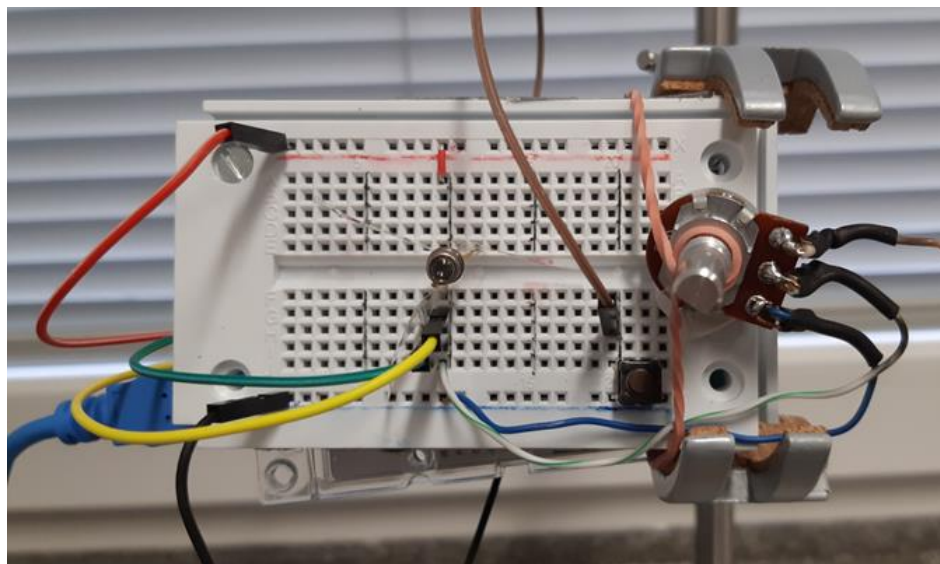
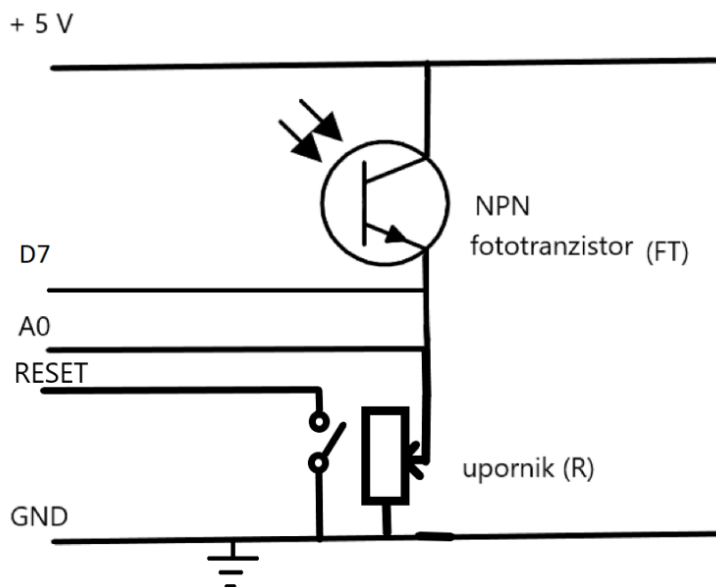
Senzor in priklop na Arduino –
prva izvedba
s fotoupornikom in upornikom:

Sistem je bil zaradi dolgotrajnega
branja vrednosti na A0 (100 μ s)
prepočasen.



Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe – podrobneje o izvedbi z mikrokrmilnikom Arduino:

Senzor in priklop na Arduino – zadnja izvedba s fototranzistorjem in
potenciometrom – preberemo digitalno vrednost na D7 v 4 do 8 μ s:

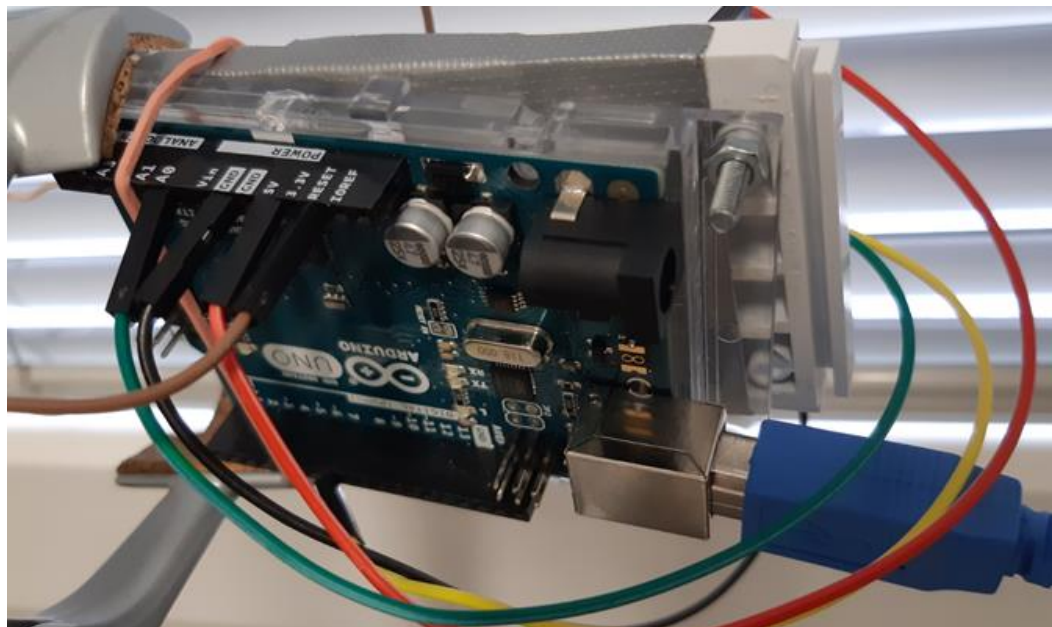
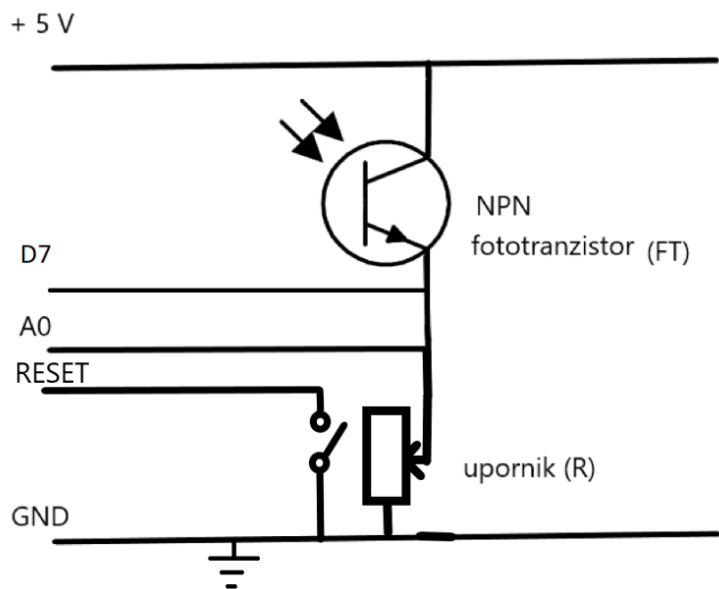


Barve žic in povezave:

rdeča: + 5 V, rumena: D7, zelena: A0, rjava: reset, črna: GND, svetlo
zelena: drsnik potenciometra in emitor FT, modra: potenciometer in GND

Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe – podrobneje o izvedbi z mikrokrmilnikom Arduino:

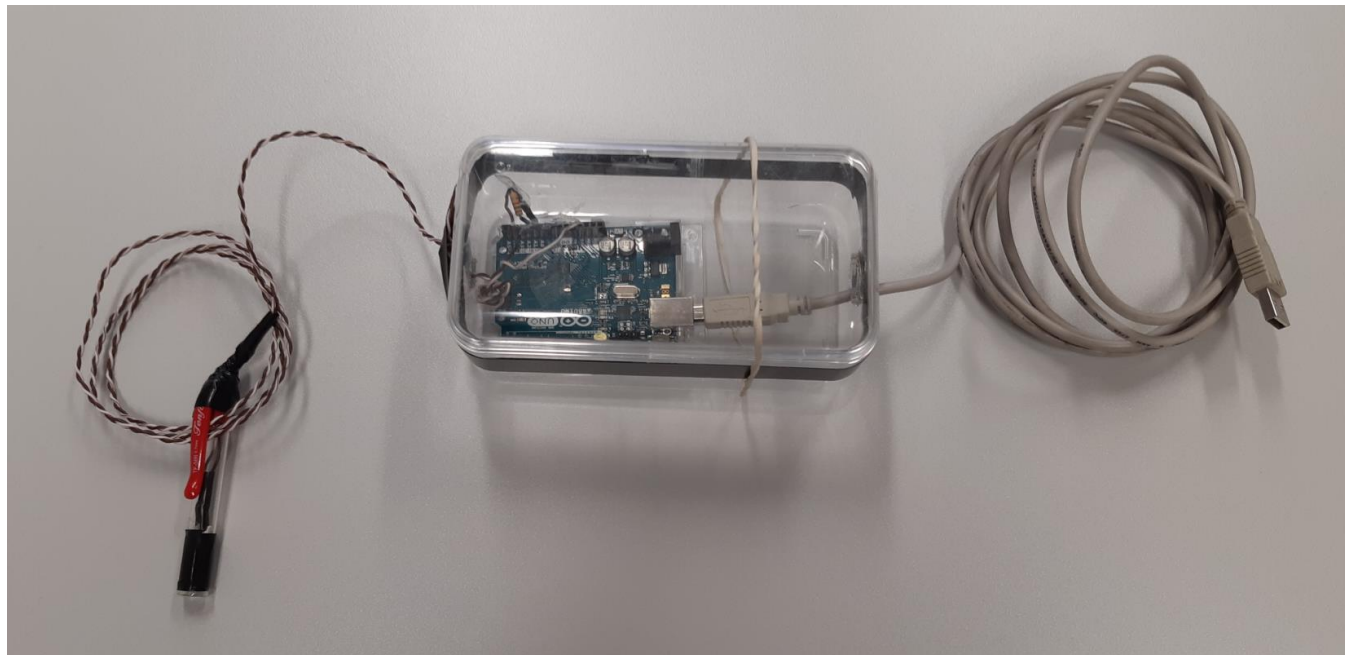
Priklop na Arduino – shema in fotografija:



Barve žic in povezave:

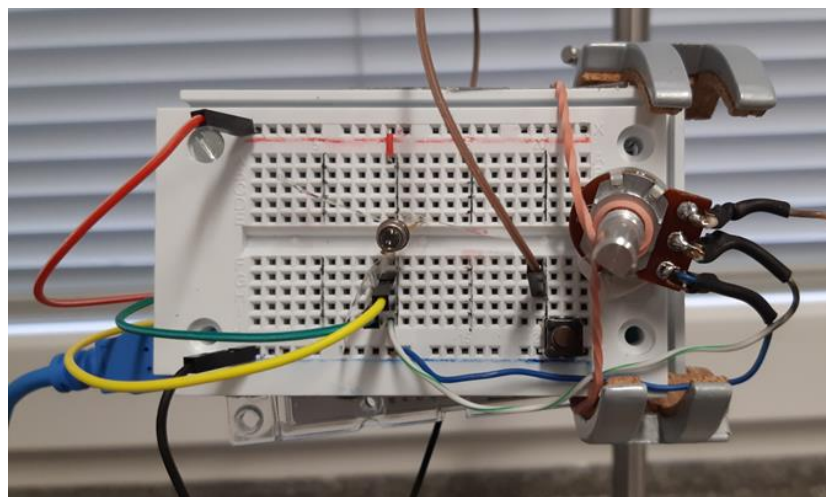
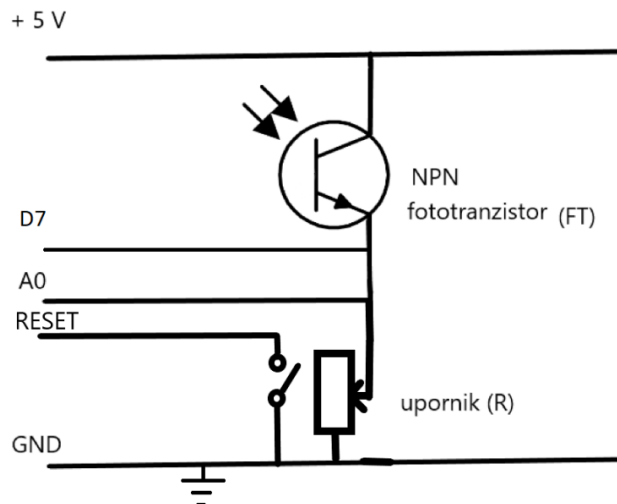
rdeča: + 5 V, rumena: D7, zelena: A0, rjava: reset, črna: GND,

Izvedba, priročnejša za uporabo pri pouku:



Na sliki je verzija s fotoupornikom, ki pa je za merjenje pospeška prostega pada prepočasna. Fotoupornik lahko zamenjamo s fototranzistorjem, potenciometer in stikalo za reset pa lahko montiramo na pokrov škatle, v kateri je Arduino.

Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe – podrobneje o izvedbi z mikrokrmilnikom Arduino:



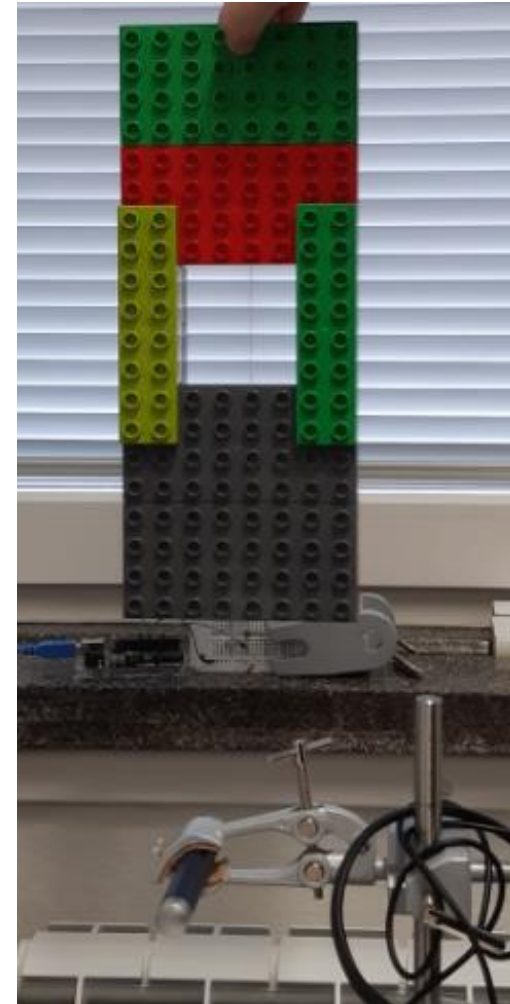
Princip delovanja senzorja in delo z njim:

Napetost v točkah med R in FT je odvisna od njunih upornosti – npr. če sta ti enaki, je ta napetost 2,5 V. Če je upornost osvetljenega FT enaka $\frac{1}{4}$ upornosti R pa je ta napetost (ter napetost na A0 in D7) enaka 4,0 V. To situacijo želimo doseči s spreminjanjem upornosti potenciometra, saj to že pomeni vrednost 1 na D7 [11] in lahko zato zaznamo osvetljenost FT.

Priporočilo: Največja upornost potenciometra bi naj bila vsaj 4 x toliko, kot je upornost osvetljenega fototranzistorja.

Psevdokoda programa, ki zaznava prekinitev svetlobe in izračunava hitrosti ter pospešek:

```
1. Deklaracija in inicializacija spremenljivk;  
2. Void setup () { // začetna funkcija, ki se izvede le enkrat  
   Inicializacija komunikacije s PC-jem;  
   Branje vnosa širine prečke ograjice;  
 }  
3. Void loop { // zanka, ki se izvaja, dokler krmilnika ne odklopimo ali resetiramo;  
   do { branje časa; } (while FT je osvetljen);  
   ta1 = zadnji prebran čas;  
   do { branje časa; } (while FT je neosvetljen);  
   ta2 = zadnji prebran čas;  
   do { branje časa; } (while FT je osvetljen);  
   tb1 = zadnji prebran čas;  
   do { branje časa; } (while FT je neosvetljen);  
   tb2 = zadnji prebran čas;  
   Izračuni in izpisi časovnih intervalov dta, dtb, dtab,  
   Izračuni in izpisi hitrosti va in vb ter spremembe hitrosti dv;  
   Izračun in izpis pospeška:  $a = dv/dtab$ ;  
 }
```



Primer rezultatov meritev z dne 17. 10. 2018 na ZRSŠ OE MB:

Od 6 meritev je vrednost težnega pospeška petkrat 9,8 m/s² enkrat pa 9,7 m/s².

```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
vnesite dolžino, s katero prekinjate svetlobni žarek, izraženo v cm (za decimalno vejico uporabite piko, vrednost naj bo nad 1 mm):
vnesli ste 12.77 cm

meritev 1
dx = 0.12770 m
tal = 20.850120 s      ta2 = 20.946552 s      dta = 0.096432 s      va = 1.324249 m/s
tbl = 20.979927 s      tb2 = 21.033575 s      dtb = 0.053648 s      vb = 2.380331 m/s
dtab = 0.108416 s      dv = 1.056082 m/s
a = 9.741015 m/s^2

meritev 2
dx = 0.12770 m
tal = 34.436393 s      ta2 = 34.534057 s      dta = 0.097664 s      va = 1.307544 m/s
tbl = 34.567432 s      tb2 = 34.621192 s      dtb = 0.053760 s      vb = 2.375372 m/s
dtab = 0.109088 s      dv = 1.067828 m/s
a = 9.788684 m/s^2

meritev 3
dx = 0.12770 m
tal = 56.107032 s      ta2 = 56.205142 s      dta = 0.098112 s      va = 1.301574 m/s
tbl = 56.238521 s      tb2 = 56.292392 s      dtb = 0.053872 s      vb = 2.370434 m/s
dtab = 0.109368 s      dv = 1.068860 m/s
a = 9.773058 m/s^2

meritev 4
dx = 0.12770 m
tal = 66.195419 s      ta2 = 66.293190 s      dta = 0.097776 s      va = 1.306046 m/s
tbl = 66.326789 s      tb2 = 66.380554 s      dtb = 0.053760 s      vb = 2.375372 m/s
dtab = 0.109368 s      dv = 1.069326 m/s
a = 9.777318 m/s^2

meritev 5
dx = 0.12770 m
tal = 77.516250 s      ta2 = 77.621192 s      dta = 0.104944 s      va = 1.216839 m/s
tbl = 77.655464 s      tb2 = 77.710235 s      dtb = 0.054768 s      vb = 2.331654 m/s
dtab = 0.114128 s      dv = 1.114814 m/s
a = 9.768104 m/s^2

meritev 6
dx = 0.12770 m
tal = 91.470314 s      ta2 = 91.569656 s      dta = 0.099344 s      va = 1.285432 m/s
tbl = 91.603256 s      tb2 = 91.657241 s      dtb = 0.053984 s      vb = 2.365516 m/s
dtab = 0.110264 s      dv = 1.080083 m/s
a = 9.795430 m/s^2

 Avtomatsko pomikanje
Brez urejanja 9600 baud Clear output
```



Komentar rezultatov meritev z dne 17. 10. 2018 na ZRSS OE MB:

```
COM3 (Arduino/Genuino Uno)
|
vnesite dolžino, s katero prekinjate svetlobni žarek, izraženo v cm (za decimalno vejico uporabite piko, vrednost naj bo nad 1 mm):
vnesli ste 12.77 cm

meritev 1
dx = 0.12770 m
tal = 20.850120 s      ta2 = 20.946552 s      dta = 0.096432 s      va = 1.324249 m/s
tbl = 20.979927 s      tb2 = 21.033575 s      dtb = 0.053648 s      vb = 2.380331 m/s
dtab = 0.108416 s      dv = 1.056082 m/s
a = 9.741015 m/s^2

meritev 2
dx = 0.12770 m
tal = 34.436393 s      ta2 = 34.534057 s      dta = 0.097664 s      va = 1.307544 m/s
tbl = 34.567432 s      tb2 = 34.621192 s      dtb = 0.053760 s      vb = 2.375372 m/s
dtab = 0.109088 s      dv = 1.067828 m/s
a = 9.788684 m/s^2
```

- Če „ograjica“ med padanjem ni vodoravna, je izmerjen rezultat vedno manjši od dejanskega pospeška prostega pada – primer sistematične napake meritve.
- Koda programa, ki je generiral zgornji izpis, bo osnova za verzije, ki bodo merile le čas, le hitrost, le pospešek ali poljubno podmnožico teh fizikalnih količin.
- Načrtovane izboljšave: možnost vnosa komentarja pred začetkom merjenja, zapis datuma in časa za vsako meritev, zaokroževanje izračunanega pospeška na dve mesti.

Še *pseudokoda programa*, ki zaznava napetost na A0 in stanje na D7 med tem, ko spreminjamo upornost potenciometra:

1. *Deklaracija in inicializacija spremenljivk;*

2. *Void setup () { // začetna funkcija, ki se izvede le enkrat*

Inicializacija komunikacije s PC-jem;

}

3. *Void loop { // zanka, ki se izvaja, dokler krmilnika ne odklopimo ali resetiramo;*

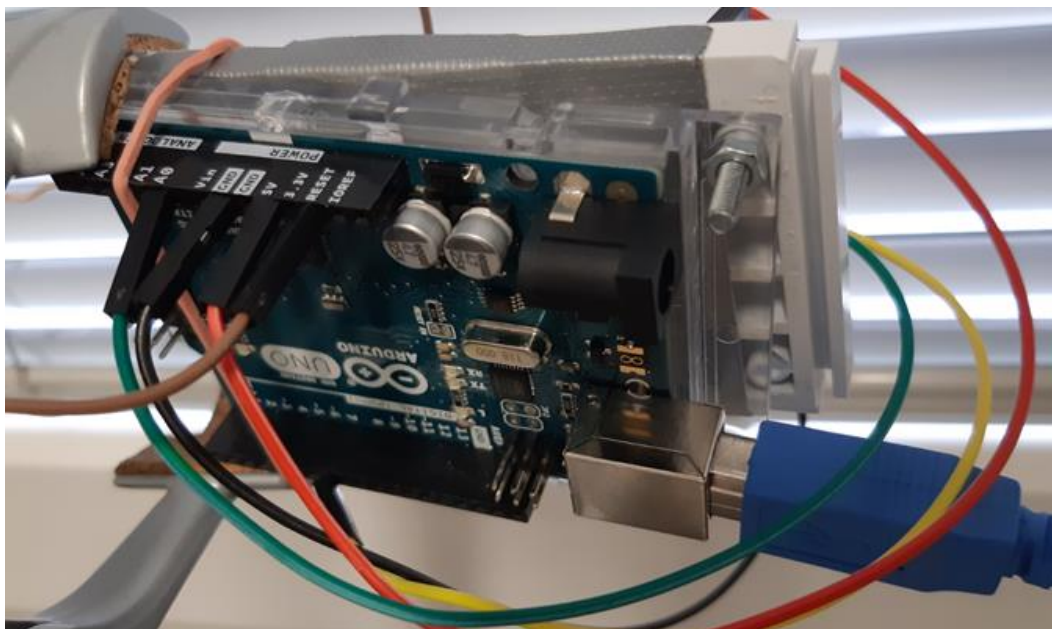
Preberi vrednost na A0;

Preberi vrednost na D7;

Izpiši prebrano vrednost na A0;

Izpiši prebrano vrednost na D7

}



Nastavljanje upornosti potenciometra pred začetkom merjenja:

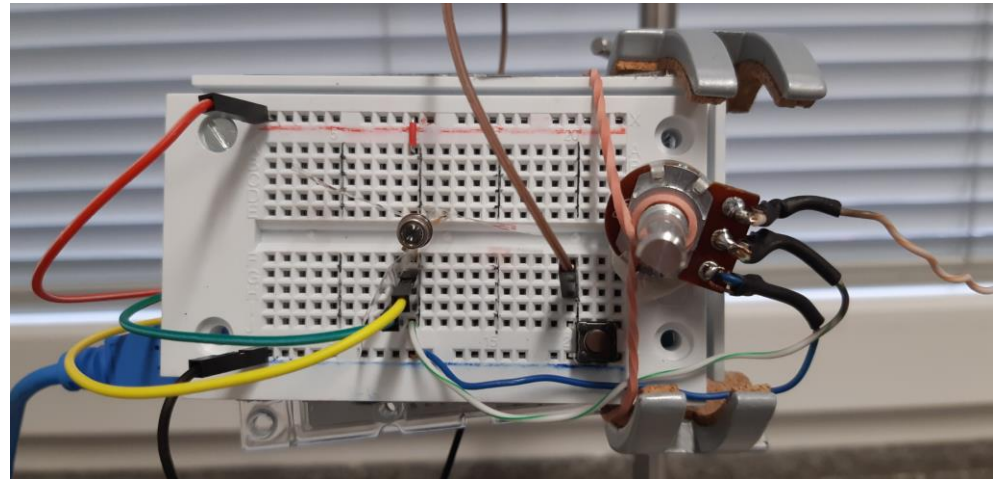
Želimo vrednost 1 na D7, ko je fototranzistor osvetljen z laserjem in 0, ko je laserski žarek prekinjen in fototranzistor ni osvetljen z lasersko svetlobo.

Za vrednost na A0 izpisuje program cela števila med 0 in 1023. 0 ustreza napetosti 0 V, 1023 pa napetosti 5 V. Pretvorba vmesnih vrednosti je linearna – 205 pomeni 1 V, 511 pomeni 2,5 V ...

Nad vrednostmi

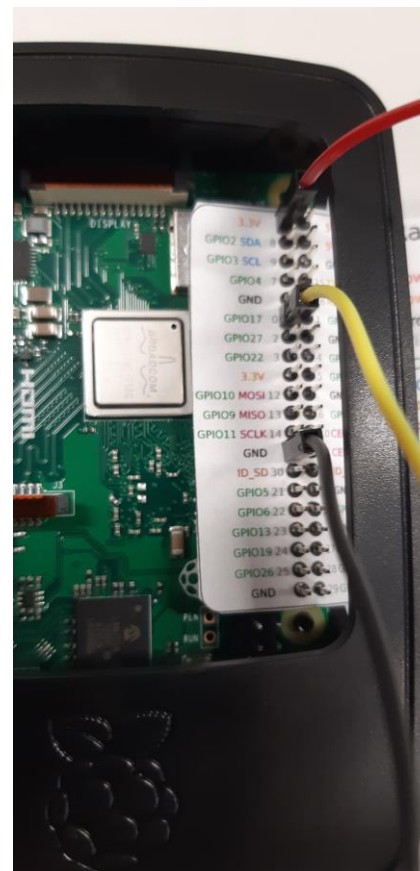
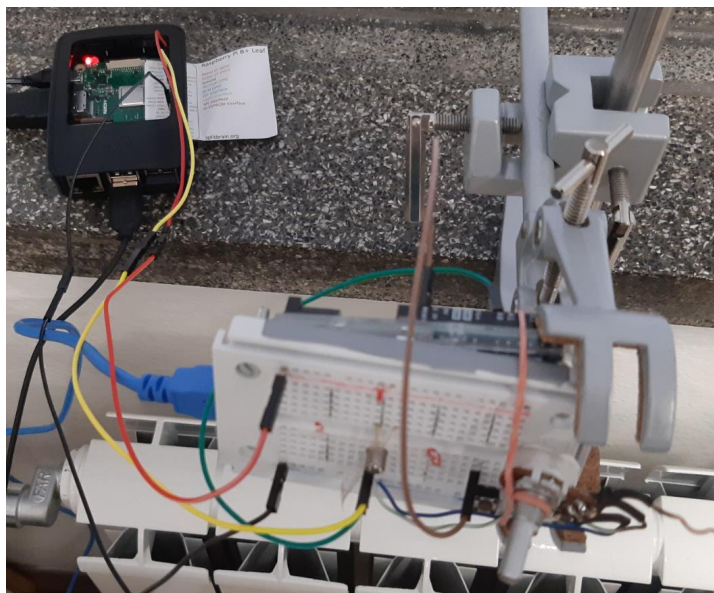
650 za A0 pri osvetljenem fototranzistorju je D7 praviloma 1. Če pri tej nastavitvi potenciometra prekinete svetlobni curek, mora pasti vrednost D7 na 0.

Sistem je tedaj pripravljen za merjenje v danih pogojih.



Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe in z mikroračunalnikom Raspberry Pi:

Priklop istega senzorja na Raspberry Pi:

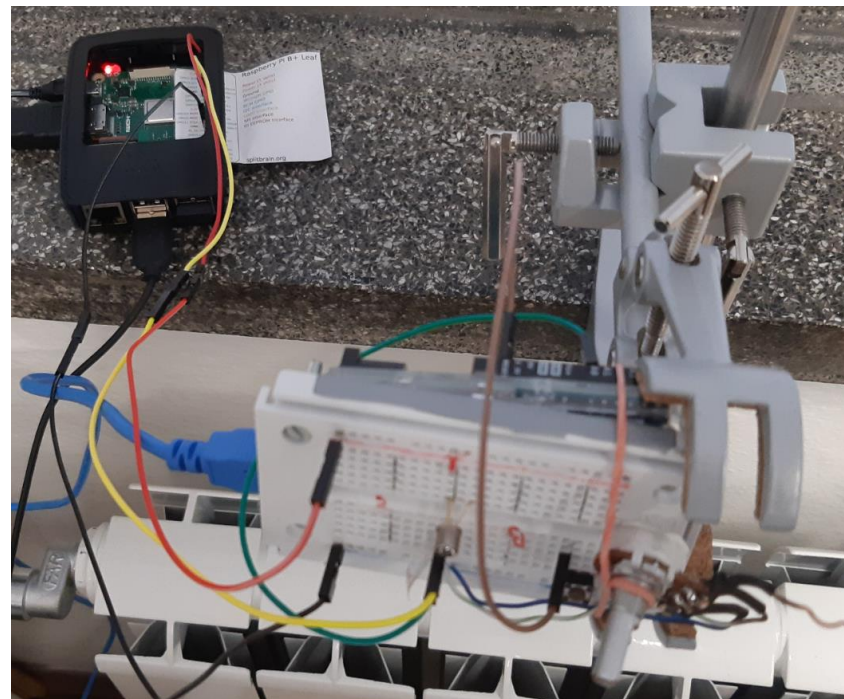


Barve žic in povezave: **rdeča: + 3,3 V**, **rumena: GPIO17**, črna: GND.
(Raspberry Pi nima analognega vhoda, na katerem bi lahko prebrali napetost na potenciometru.)

Možnosti merjenja pospeška s pomočjo prekinjanja žarka svetlobe in z mikroračunalnikom Raspberry Pi:

Kodo programov, ki delujejo v mikrokontrolerju Arduino, je potrebno prilagoditi za delovanje na Raspberry Pi in zapisati v jeziku Python (načrtujemo v nadaljevanju naloge).

Ugotovitve in rezultati bodo na voljo v spletni učilnici.



Viri:

- [1] Koškin, N. I., Širkirevič, M. G. (1974). *PRIROČNIK ELEMENTARNE FIZIKE*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.
- [2] Mohorič, A., Babič, V. (2012). *FIZIKA 1 Učbenik za fiziko v 1. letniku gimnazij in štiriletnih strokovnih šol*. Ljubljana: Mladinska knjiga.
- [3] https://sl.wikipedia.org/wiki/Zemljini_polmer (30. 11. 2018)
- [4] Galeriu, C. (2013). *An Arduino-Controlled photogate*. THE PHYSICS TEACHER. 51, 156 –158.
- [5] <https://www.vernier.com/products/sensors/vpg-btd/> (3. 12. 2018)
- [6] <http://www.ucila.com/index.php?izdelek=100057> (3. 12. 2018)
- [7] https://www.pasco.com/prodCatalog/PS/PS-2103_pasport-motion-sensor/index.cfm (3. 12. 2018)
- [8] <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/> (3. 12. 2018)
- [9] <https://www.modmypi.com/blog/hc-sr04-ultrasonic-range-sensor-on-the-raspberry-pi> (3. 12. 2018)
- [10] <https://www.nexonar.com/en/products/ir-tracker/> (3. 12. 2018)
- [11] <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=67547.0> (4. 12. 2018)

Hvala za pozornost.

