



FIZIKA VRTILJAKA

Avtorja:
Žan Žurič, 9. r
Juš Kustec, 9. r

Mentor:
Jože Berk
prof. mat. in fiz.

Mestna občina Celje, Mladi za Celje
Celje, 2009

KAZALO

KAZALO	2
POVZETEK	4
1. UVOD	5
1.1 Opis raziskovalnega problema.....	5
1.2 Teoretske osnove.....	8
1.3 Hipoteze.....	12
1.4 Raziskovalne metode.....	12
2. OSREDNJI DEL	13
2.1 Izvedba eksperimenta.....	13
2.2 Rezultati merjenja: $m = 2$ g.....	15
2.3 Grafični prikaz rezultatov: $m = 2$ g.....	17
2.4 Rezultati merjenja: $m = 4$ g.....	18
2.5. Razprava o rezultatih.....	21
3. ZAKLJUČEK	22
4. LITERATURA	24

Slika 1 (na naslovnici): Veliki vrtiljak v Grčiji (Atene)

KAZALO SLIK

<i>Slika 1</i>	Vrtljak v Grčiji	<i>naslovnica</i>
<i>Slika 2</i>	»Zid smrti«	<i>stran 5</i>
<i>Slika 3</i>	Vrteči se valj v cirkusu	<i>stran 5</i>
<i>Slika 4</i>	Vrtljak v zabavišču	<i>stran 6</i>
<i>Slika 5</i>	Delovanje centripetalne sile pri kroženju telesa	<i>stran 7</i>
<i>Slika 6</i>	Prikaz delovanja centripetalne in centrifugalne sile	<i>stran 9</i>
<i>Slika 7</i>	Sile pri kroženju	<i>stran 10</i>
<i>Slika 8</i>	Gramofon s stikalom za regulacijo frekvence vrtenja	<i>stran 13</i>
<i>Slika 9</i>	Izdelava vrtiljaka	<i>stran 14</i>
<i>Slika 10</i>	Vrtljak na gramofonu	<i>stran 14</i>
<i>Slika 11</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto	<i>Stran 15</i>
<i>Slika 12</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto	<i>Stran 15</i>
<i>Slika 13</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 78 vrtljajev na minuto	<i>Stran 16</i>
<i>Slika 14</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto	<i>Stran 18</i>
<i>Slika 15</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto	<i>Stran 18</i>
<i>Slika 16</i>	Kroženje vrtiljaka pri frekvenci 78 vrtljajev na minuto	<i>Stran 19</i>
<i>Slika 17</i>	Avtorja raziskovalne naloge z izdelanim vrtiljakom	<i>Stran 23</i>

POVZETEK

Motorist in avto vozita po navpični steni z nagibom 90° , ki ji pravimo »zid smrti«. Če ne verjamete, boste odgovor oziroma potrditev da je to mogoče, našli v naši nalogi. Seveda pa morajo biti za to izpolnjeni določeni pogoji in ravno to je bil motiv za izdelavo naše raziskovalne naloge.

V tem in podobnih primerih gre za gibanje, ki ga imenujemo enakomerno kroženje in ga lahko opazujemo marsikje v naravi, med drugim tudi pri vožnji z vrtiljakom. Ta primer smo uporabili tudi mi in s pomočjo starega gramofona izdelali model vrtiljaka, s katerim smo lahko opazovali takšno gibanje in izmerili potrebne fizikalne količine. Dokazali smo, da je tangens odklonskega kota sedeža vrtiljaka premo sorazmeren s kvadratom hitrosti kroženja in premo sorazmeren s polmerom po katerem kroži sedež. Če menite, da pri kroženju debelega človeka nese dlje od središča kroženja kot suhega človeka, se motite: dokazali smo, da masa telesa ne vpliva na odklon krožečega telesa.

V okviru raziskovalne naloge smo izdelali zelo uporaben didaktični eksperimentalni model za prikaz gibanja vrtiljaka, ki omogoča nazoren prikaz enakomernega kroženja pri treh različnih hitrostih, saj ima gramofon, ki smo ga uporabili, tri različne frekvence vrtenja. Prednost izdelanega modela je v tem, da lahko s spreminjanjem frekvence vrtenja, spreminjamo hitrost kroženja sedeža vrtiljaka – to pa seveda vpliva na odklon od navpične osi in ta odklon lahko zelo enostavno izmerimo. Enostavno merljiv je tudi polmer kroženja, maso pa smo spreminjali z dodajanjem uteži na sedež vrtiljaka. Izračunali smo tudi kotno in obodno hitrost kroženja in naše hipoteze preverili tudi po računski poti z uporabo ustreznih fizikalnih enačb.

Menimo, da bi naš model vrtiljaka lahko koristno uporabili pri pouku fizike v osnovni in srednji šoli, saj omogoča relativno enostavno merjenje fizikalnih količin potrebnih za opis kroženja in preverjanje številnih fizikalnih zakonitosti pri tem gibanju.

UVOD

1.1. Opis raziskovalnega problema

Motiv za raziskovalno nalogo smo dobili pri motoristih, ki po navpični steni z nagibom 90° brez težav krožijo v krogu. Pozanimali smo se in izvedeli, da temu pravijo »ZID SMRTI«.



Slika 2: »Zid smrti«

Celo v nekaterih zabaviščih imajo nekakšne »vrteče valje« in ko se tak valj vrtil dovolj hitro, ljudi v njem tako močno pritisne ob steno, da sploh ne stojijo več na tleh – lahko bi rekli, da »premagajo« gravitacijo.



Slika 3: Vrteči se valj v cirkusu

Zelo podoben primer je vrtiljak, ki ga prav tako lahko pogosto vidimo v raznih zabaviščnih parkih. Tudi tam lahko opazujemo, kako se sedež vrtiljaka med vrtenjem močno nagne navzven.



Slika 4: Vrtiljak v zabavišču

Vprašali smo se, kako je mogoče, da lahko motorist po navpični steni sploh vozi oziroma katere sile delujejo pri kroženju in od česa so odvisne. Razmišljali smo, da bi izdelali model kroženja, kjer bi lahko delovanje sil opazovali in izmerili potrebne fizikalne količine. Ker smo domnevali, da je pri kroženju za delovanje sil zelo pomemben dejavnik hitrost kroženja, smo razmišljali, katero napravo bi uporabili za izdelavo našega modela – pomembno se nam je zdelo predvsem, da bi lahko spreminjali hitrost vrtenja. Spomnili smo se, da to možnost ponujajo gramofoni, ki imajo tri različne frekvence vrtenja in kaj hitro smo poiskali star gramofon.

Skrbeli so nas predvsem izračuni, saj smo želeli izdelati model, kjer bi lahko z rezultati potrdili naše domneve. Seveda pa za izračune potrebujemo cel kup znanja o silah.

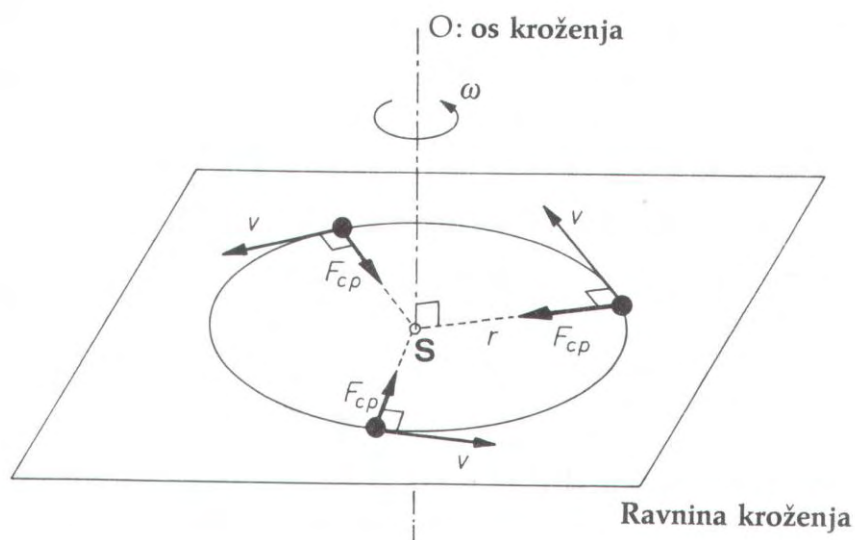
Pri fiziki v 9. razredu smo sicer slišali za centrifugalno in centripetalno silo, vendar sil pri kroženju nismo podrobneje obravnavali. Teoretično znanje o silah pri kroženju smo zato poiskali v literaturi in na spletu, kar ni bilo težko, saj o tej temi govori praktično vsaka fizikalna knjiga.

1.2. Teoretske osnove

Kroženje

Opis kroženja

Poznamo pozitivno in negativno smer kroženja (vrtenja). Pozitivna smer je določena z vrtenjem v nasprotni smeri urinega kazalca, negativna smer pa v smeri vrtenja urinega kazalca. Točkasto telo kroži po krožnici s polmerom (r) okoli stalne osi s središčem v točki O s kotno hitrostjo (ω), če ga v kroženje prisili ena ali več zunanjih sil, ki delujejo na telo. Rezultanta teh sil je usmerjena k središču kroženja in jo imenujemo centripetalna sila (F_{cp}). Točkasto telo ima v vsakem trenutku obodno hitrost (v) v smeri tangente na krožnico, ki je tir gibanja telesa.



Slika 5: Delovanje centripetalne sile pri kroženju telesa

Centripetalna sila - F_{cp}

Centripetalna sila (F_{cp}) je torej sila, ki ukrivlja tir krožečega telesa. Leži na zveznici osišča in trenutne lege točke na krožnici ter je usmerjena proti osišču. Ker je pravokotna na obodno hitrost, ne spreminja velikosti hitrosti telesa, ampak le njeno smer. Skladno z drugim Newtonovim zakonom povezuje centripetalno silo in radialni pospešek zveza:

$$F_{cp} = m \cdot a_r$$

Pri tem je m masa krožečega telesa.

Pri obravnavi kroženja potrebujemo nekatere fizikalne količine in povezave med njimi:

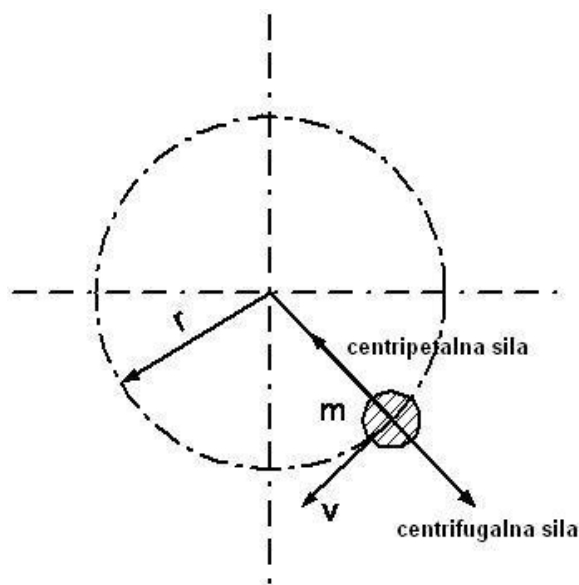
Količina	Oznaka	Enota	Definicija	Fizikalne zveze
Obhodni čas	t_o	s	Čas, ki je potreben za 1 obhod.	$t_o = \frac{1}{\nu}$
Frekvenca	ν	s ⁻¹	Število obhodov v eni sekundi.	
Obodna hitrost	v	$\frac{m}{s}$	Količnik med spremembo loka in časovno enoto.	$v = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{t_o}$
Kotna hitrost	ω	s ⁻¹	Količnik med spremembo kota in časovno enoto.	$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \nu$ $v = r \cdot \omega$
Radialni pospešek	a_r	$\frac{m}{s^2}$	Produkt obodne in kotne hitrosti.	$a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 \cdot r$

Centripetalno silo lahko s pomočjo ustreznih količin izrazimo tudi z obodno ali kotno hitrostjo:

$$F_{cp} = m \cdot a_r = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r.$$

Centrifugalna sila - F_{cf}

Centrifugalna sila (F_{cf}) ni realna sila, ampak je samo »namišljena« oziroma navidezna sila. To je namreč sila ki jo občutimo, če se vrtimo na vrtiljaku. Občutimo namreč, da nas želi neka sila »vreči ven«, stran od središča vrtiljaka. Po smeri je nasprotna centripetalni sili po velikosti pa sta ti dve medsebojno popolnoma enaki. Ker sta si precej podobni po imenu, moramo paziti da nas to ne zavede.



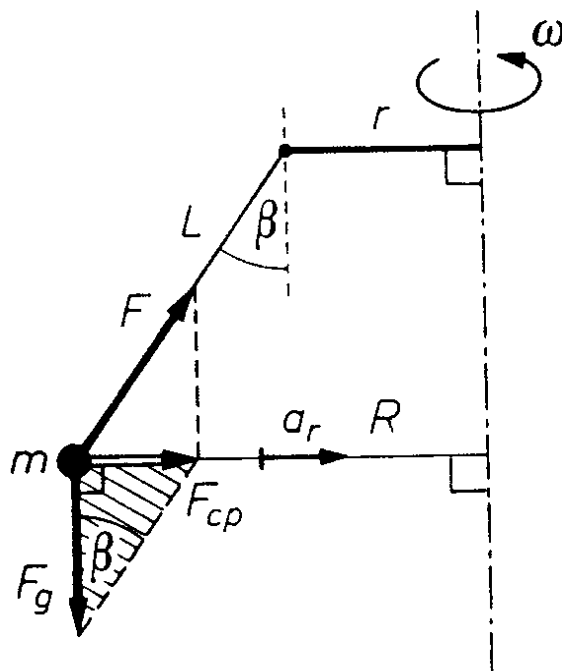
Slika 6: Prikaz delovanja centripetalne in centrifugalne sile

Da telo z maso m kroži z obodno hitrostjo v (ali kotno hitrostjo ω) po krožnici s polmerom r , mora nanj delovati radialna sila v smeri središča kroženja – to silo povzročajo telesa iz okolice, ki silijo telo v kroženje in rezultanto teh sil imenujemo centripetalna sila. Glede na zakon o medsebojnem delovanju teles pa krožeče telo deluje na okolico z nasprotno enako silo, ki ji pravimo centrifugalna sila:

$$F_{cf} = -F_{cp}.$$

Centripetalna in centrifugalna sila sta enako veliki, a nasprotno usmerjeni in delujeta na različni telesi: centripetalna deluje na krožeče telo v smeri proti središču, centrifugalna pa na center (os) kroženja s smeri radialno navzven.

Sile pri gibanju vrtiljaka



Slika 7: Sile pri kroženju

Sedež vrtiljaka se med vrtenjem nagne navzven, s čimer se pojavi rezultanta med njegovo težo in silo vrvi, na katero je pritrjen. Nastala rezultanta ima smer k središču vrtenja – pravimo ji centripetalna sila in je sila, ki omogoča kroženje. Če se vrtiljak vrti hitreje, se vrv s sedežem še bolj nagne navzven, saj je za hitrejše kroženje potrebna večja centripetalna sila.

Na krožeče telo, v našem primeru je to sedež vrtiljaka, torej delujeta dve sili: lastna teža ter sila vrvi in rezultanta teh dveh sil mora imeti velikost centripetalne sile, ki jo lahko izrazimo s pomočjo obodne ali kotne hitrosti:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad \text{ali} \quad F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

pri čemer je m masa krožečega telesa, v je obodna hitrost kroženja, ω je kotna hitrost kroženja in r polmer krožnice po kateri telo kroži.

Rezultanta sile teže in sile vrvi vleče sedež proti središču krožnice, da ne uide iz krožnice, ampak ves čas kroži okoli središča krožnice. Ker se telo giblje v zraku in je hitrost kroženja relativno velika predpostavimo, da je trenje zanemarljivo majhno oziroma, da bistveno ne vpliva na kroženje.

V potemljenem pravokotnem trikotniku sil (slika 7) velja, da je:

$$\tan \varphi = \frac{F_c}{F_g},$$

pri čemer je $\tan \varphi$ razmerje med nasproti ležečo stranico in priležno stranico v pravokotnem trikotniku sil, kot φ pa pomeni odklon vrvice s sedežem od navpičnice.

Z upoštevanjem enačb za velikost centripetalne sile in sile teže, dobimo:

$$\tan \varphi = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot r}{m \cdot g}.$$

Masa telesa se krajša, kar pomeni, da je odklon vrtiljaka neodvisen od mase telesa - sedeža oziroma človeka, ki na njem sedi:

$$\tan \varphi = \frac{\omega^2 \cdot r}{g}.$$

Dobljena formula nam pove, da je tangens odklonskega kota (**tan φ**) vrtiljaka premo sorazmeren s kvadratom kotne hitrosti vrtiljaka (**ω**).

1.3. Hipoteze

V okviru naloge smo si zastavili tri hipoteze:

1. Odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi je premo sorazmeren s kotno (obodno) hitrostjo kroženja: večji hitrosti ustreza večji naklon vrvice in obratno.
2. Odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi je premo sorazmeren z maso krožečega telesa.
3. Vrtiljak je dober didaktični model za prikaz enakomernega kroženja pri pouku fizike v osnovni in srednji šoli.

Dejavnosti v okviru naše raziskovalne naloge, ki so izhajale iz postavljenih hipotez:

- izdelava didaktičnega modela vrtiljaka za prikaz zakonitosti enakomernega kroženja,
- merjenje odklona in polmera kroženja pri gibanju vrtiljaka pri treh različnih frekvencah vrtenja in dveh različnih masah krožečega telesa,
- izračun potrebnih fizikalnih količin, ki jih potrebujemo za opis enakomernega kroženja ter grafični prikaz odvisnosti količin.

1. 4. Raziskovalne metode

V okviru naše raziskovalne naloge smo morali najprej proučiti teoretične osnove o enakomernem kroženju. Informacije smo poiskali predvsem v osnovnošolskih in srednješolskih učbenikih za fiziko. Kot vir smo uporabljali tudi spletne strani, kjer smo našli predvsem nekaj zanimivih fotografij.

Glavna metoda v naši nalogi je bila eksperimentalna metoda, saj je celotna naloga vezana na izvedbo eksperimenta z vrtiljakom, ki smo ga sami izdelali. Vzporedno z izvedbo eksperimenta smo napravili izračune ter narisali graf, kar pomeni uporabo računske in grafične metode z analizo dobljenih rezultatov.

V okviru naloge smo posneli tudi več fotografij oziroma filmskih posnetkov z digitalnim fotoaparatom, ki dokumentirajo postavitev in izvedbo celotnega eksperimenta. Fotografske oziroma filmske posnetke smo uporabili tudi za merjenje odklonskih kotov in polmerov pri kroženju.

Na koncu smo izdelali še pisno poročilo s programom MS WordXP.

2. OSREDNJI DEL

2. 1. Opis eksperimenta

Na internetu smo zasledili akrobacijo imenovano »zid smrti«, kjer motorist vozi po povsem navpični steni. To smo hoteli vključiti v nalogo, ki se je takrat imenovala še »zid smrti«. Poskus je temeljil na vrteči plošči na gramofonu, na katero je bil pritrjen velik lijak. Po lijaku, smo spustili žogico, ki naj bi pri različnih hitrostih in masah krožila na različnih višinah lijaka. Načrt je splaval po vodi, saj je bil zaradi sile trenja poskus neuspešen oziroma ni potekal tako, kot smo načrtovali.

Po neuspelem poskusu z lijakom, smo se odločili, da bomo našo nalogo izdelali z vrtiljakom, kjer je vpliv trenja znatno manjši. Opazovano telo so sedeži vrtiljaka, na katere prav tako deluje enaka sila kot pri vožnji avta po »zidu smrti« – centripetalna sila.

Iz kartonskih lončkov smo izdelali vrtiljak, ki je visok 46 cm. Izdelani vrtiljak ima na vrhu leseni pravokotni palici dolgi 40 cm. Na koncu vsake palice smo izvrtali majhne luknjice, skozi katere smo napeljali vrvice in jih prilagodili na enako dolžino 35 cm. Na koncu vrvic smo privezali lesene valje, ki ponazarjajo sedeže vrtiljaka. Pod vsako palico smo z belo barvo narisali navpično črto, ki nam je pomagala ob določanju lege pri analizi fotografskih posnetkov. Izdelani vrtiljak smo nato pritrdili na gramofonsko ploščo in vse skupaj postavili na gramofon.



Slika 8: Gramofon s stikalom za regulacijo frekvence vrtenja



Slika 9: Izdelava vrtiljaka

Gramofon smo vključili in vrtiljak se je gibal na 3 različnih frekvencah: 33, 45 in 78 vrtljajev na minuto. Med vrtenjem smo opazovali gibanje (kroženje) lesenih valjev oziroma sedežev in odklon vrvic od navpične lege pri različnih frekvencah vrtenja. Gibanje smo posneli s fotoaparatom in pri vsaki hitrosti s pomočjo filmskega posnetka izmerili kot odklona in polmer po katerem krožijo leseni valji oziroma sedeži.

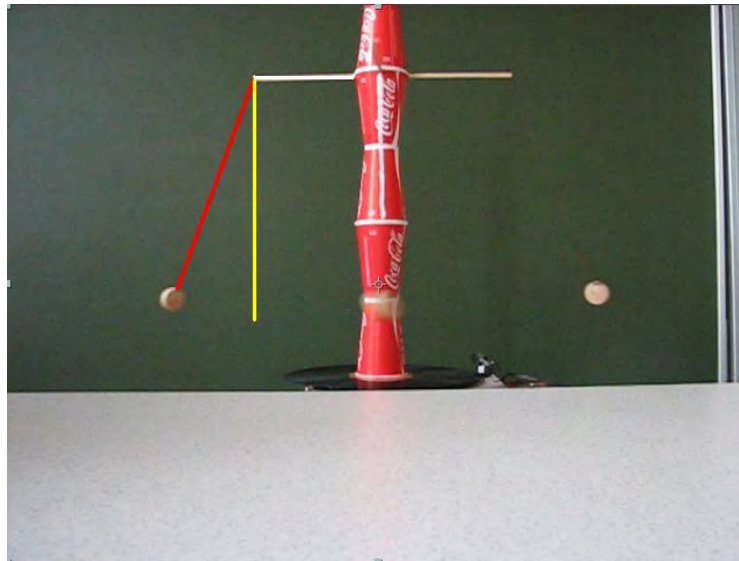
Poskus smo ponovili še za primer, ko je bila masa sedeža (krožečega telesa) 2 – krat večja, saj smo želeli ugotoviti vpliv mase na kroženje.



Slika 10: Vrtiljak na gramofonu

2. 2. Rezultati merjenja: $m = 2 \text{ g}$.

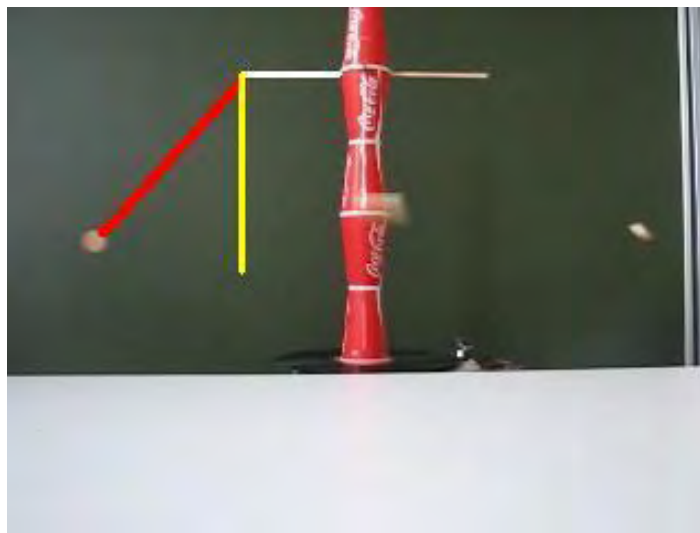
a) frekvenca kroženja je 33 vrtljajev na minuto



Slika 11: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto

Iz fotografskega posnetka smo izmerili, da je pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto odklonski kot sedeža vrtljaka 23° , polmer kroženja pa 33,7 cm.

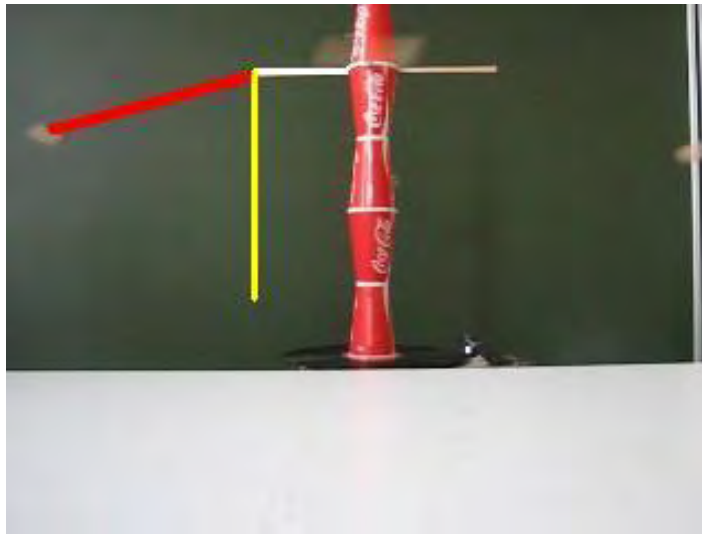
b) frekvenca kroženja je 45 vrtljajev na minuto



Slika 12: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto

Pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto smo s pomočjo fotografskega posnetka ugotovili, da je odklonski kot sedeža vrtljaka 40° , polmer kroženja pa je 42,9 cm.

c) frekvenca kroženja je 78 vrtljajev na minuto



Slika 13: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 78 vrtljajev na minuto

Pri največji frekvenci vrtenja, 78 vrtljajev na minuto smo iz fotografskega posnetka izmerili, da je odklonski kot sedeža vrtljaka 68° , polmer kroženja pa 52,9 cm.

Izmerjene rezultate smo zbrali v preglednici, ter za vsako frekvenco izračunali še kotno in obodno hitrost kroženja.

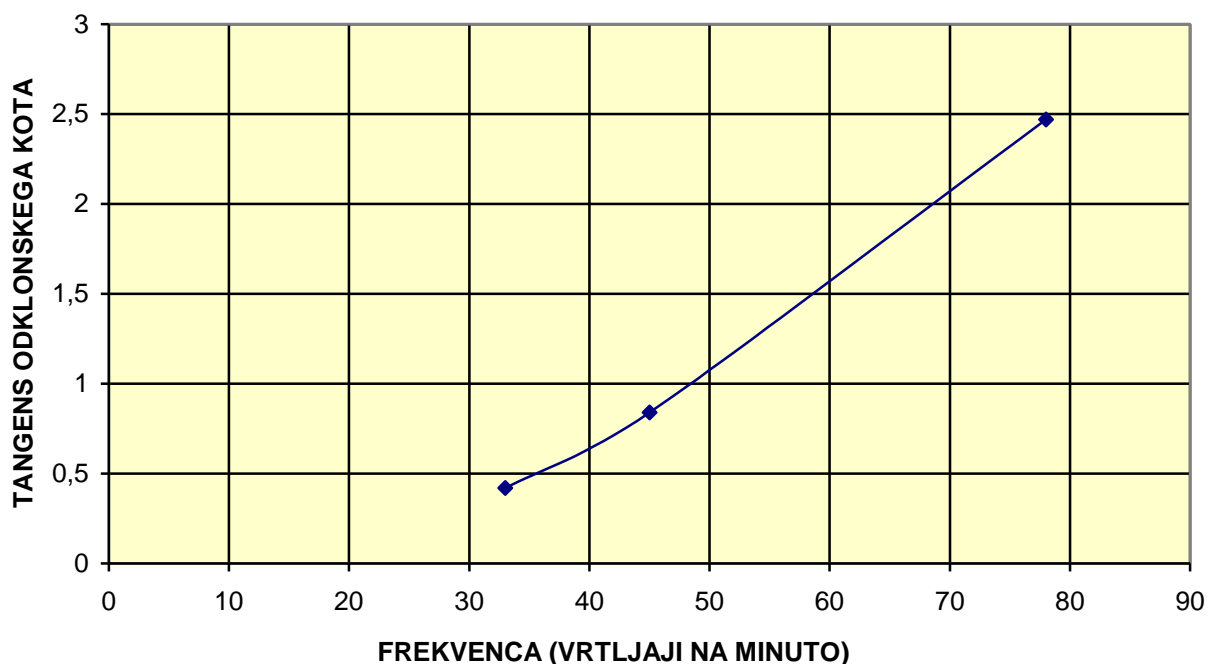
Masa sedeža vrtljaka: $m = 2 \text{ g}$					
FREKVENCA (vrtljaji na minuto)	ODKLONSKI KOT ($^\circ$)	Tangens naklonskega kota	POLMER (cm)	KOTNA HITROST (s^{-1})	OBODNA HITROST (ms^{-1})
33	23°	0,42	33,7	3,46	1,17
45	40°	0,86	42,9	4,71	2,02
78	68°	2,47	52,9	8,17	4,32

V nadaljevanju smo želeli prikazati odvisnost med frekvenco kroženja, ki je sorazmerna s kotno oziroma obodno hitrostjo in odklonskim kotom oziroma tangensom odklonskega kota.

2. 3. Grafični prikaz rezultatov

Izmerjene podatke smo prikazali v grafu odvisnosti tangensa naklonskega kota od kotne hitrosti kroženja. Ker je kotna hitrost sorazmerna s frekvenco kroženja smo na absciso os namesto kotne hitrosti nanašali kar frekvenco kroženja.

ODVISNOST ODKLONA OD FREKVENCE: $m = 2 \text{ g}$

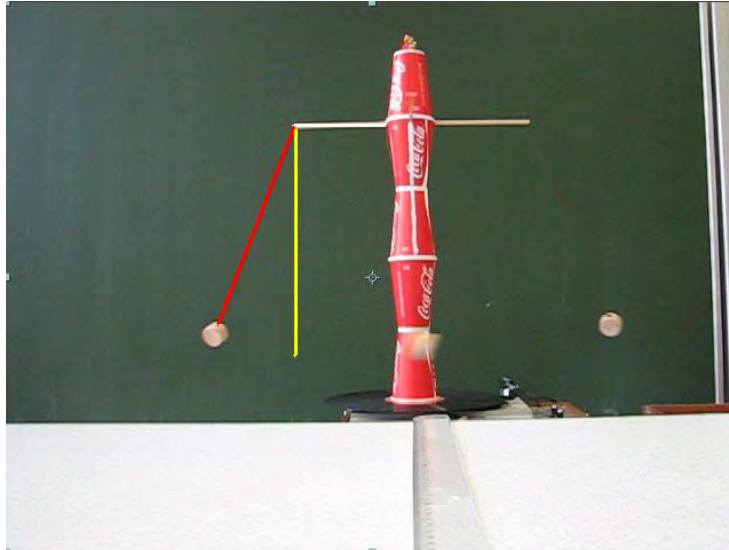


Podatki kažejo, graf pa potrjuje, da je odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi premo sorazmeren s kvadratom kotne oziroma obodne hitrosti: to pomeni, da je pri 2-krat, 3-krat, 4-krat, ... večji kotni hitrosti, tangens naklonskega kota 4-krat, 9 – krat, 16 – krat, ... večji:

Frekvenca (min ⁻¹)	Količnik - x	Kvadrat količnika x^2	Tangens odklonskega kota	Količnik - y
33	-	-	0,42	-
45	$45 : 33 = 1,4$	1,96	0,84	$0,84 : 0,42 = 2,00$
78	$78 : 33 = 2,4$	5,76	2,47	$2,47 : 0,42 = 5,88$

2. 4. Rezultati merjenja: $m = 4$ g.

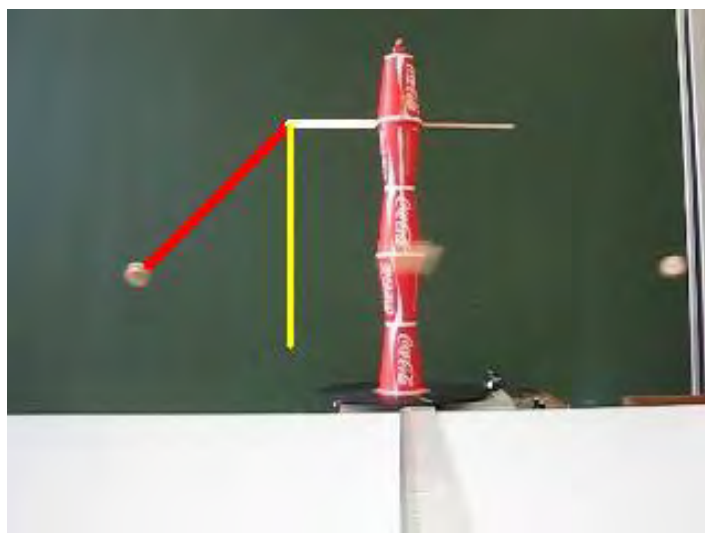
a) frekvenca kroženja je 33 vrtljajev na minuto



Slika 14: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto

Iz fotografskega posnetka smo izmerili, da je pri frekvenci 33 vrtljajev na minuto odklonski kot sedeža vrtljaka 22° , polmer kroženja pa 33,1 cm.

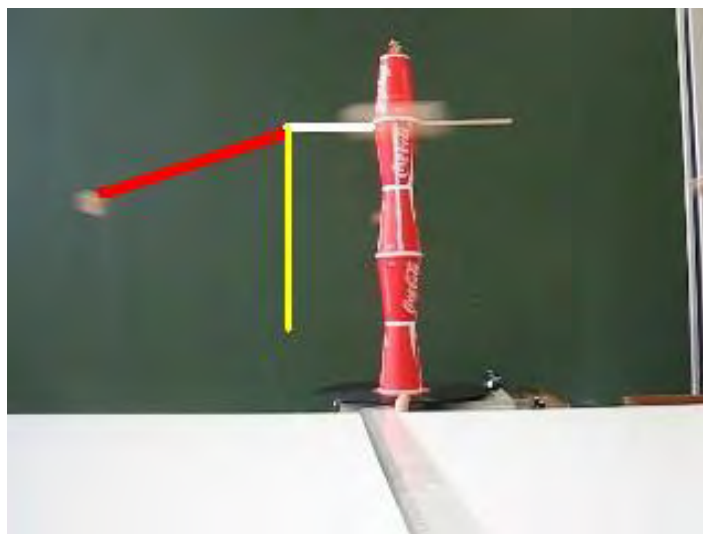
b) frekvenca kroženja je 45 vrtljajev na minuto



Slika 15: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto

Pri frekvenci 45 vrtljajev na minuto smo iz fotografskega posnetka izmerili, da je odklonski kot sedeža vrtljaka 41° , polmer kroženja pa 43,0 cm.

c) frekvenca kroženja je 78 vrtljajev na minuto



Slika 16: Kroženje vrtljaka pri frekvenci 78 vrtljajev na minuto

Pri največji frekvenci 78 vrtljajev na minuto smo ugotovili, da je odklonski kot sedeža vrtljaka 70° , polmer kroženja pa 52,9 cm.

č) Rezultati merjenja in izračune količine:

Izmerjene rezultate smo zbrali v preglednici, ter za vsako frekvenco izračunali še kotno in obodno hitrost kroženja.

Masa sedeža vrtljaka: $m = 4 \text{ g}$					
FREKVENCA (vrtljaji na minuto)	ODKLONSKI KOT ($^\circ$)	Tangens naklonskega kota	POLMER (cm)	KOTNA HITROST (s^{-1})	OBODNA HITROST (ms^{-1})
33	22°	0,40	33,1	3,46	1,14
45	43°	0,93	43,0	4,71	2,02
78	71°	2,90	52,9	8,17	4,32

Primerjava obeh tabel kaže, da v okviru natančnosti pri meritvah, masa telesa ne vpliva na odklon krožečega telesa od navpične osi.

2. 5. Razprava o rezultatih

V okviru naloge smo preverjali tri hipoteze. Na osnovi podatkov iz eksperimenta z modelom vrtiljaka, ki smo ga sami izdelali, smo eno hipotezo ovrgli, eno potrdili, za eno pa se je izkazalo, da je sicer delno pravilna, a nepopolna.

Podatke (odklonski kot od navpične osi in polmer kroženja sedeža vrtiljaka) smo merili s pomočjo fotografskih oziroma filmskih posnetkov ob upoštevanju ustreznega merila.

Natančnost izmerjenih podatkov je bila dovolj velika, da smo lahko preverili veljavnost hipotez.

2. 5. 1. Odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi je premo sorazmeren s kotno (obodno) hitrostjo kroženja: večji hitrosti ustreza večji odklon in obratno.

Izmerjeni podatki so potrdili našo osnovno domnevo, da je odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi odvisen od kotne oziroma obodne hitrosti sedeža vrtiljaka, a se je pri tem dodatno izkazalo, da:

a) je potrebno namesto o kotu odklona govoriti o tangensu odklonskega kota, kar je razvidno iz dobljene zveze s pomočjo trikotnika sil, ki delujejo na sedež vrtiljaka:

$$\tan \varphi = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} \quad (1)$$

b) da je tangens odklonskega kota premo sorazmeren s kvadratom kotne hitrosti, kar je razvidno iz zgoraj zapisane enačbe (1) in tudi iz narisanih grafov odvisnosti tangensa odklonskega kota od frekvence kroženja - graf te odvisnosti je kvadratna parabola, ki smo jo dobili s pomočjo izmerjenih podatkov: pri 1,4 – krat večji frekvenci je bil tangens odklonskega kota 2,0 – krat večji in pri 2,4 – krat večji frekvenci, 5,9 – krat večji.

c) da je tangens odklonskega kota premo sorazmeren še z polmerom po katerem kroži sedež vrtiljaka, kar je prav tako razvidno iz enačbe (1).

2. 5. 2. Odklon sedeža vrtiljaka od navpične osi je premo sorazmeren z maso krožečega telesa.

Domnevali smo, da bo masa telesa vplivala na kroženje oziroma na odklon krožečega telesa od navpične osi. Tako smo sklepali na osnovi dejstva, da je velikost centripetalne (centrifugalne) sile sorazmerna z maso telesa, kar pomeni, da na telo z 2-krat, 3-krat, 4-krat, ... n-krat večjo maso, deluje 2-krat, 3-krat, 4-krat, ..., n-krat večja sila, ki določa krožnico po kateri kroži telo. To bi v praksi pomenilo, da na človeka z večjo maso deluje večja centripetalna (centrifugalna) sila, kot na človeka z manjšo maso - v primeru vrtiljaka, da ga »nese« dlje od središča kroženja. Izkaže se, da temu ni tako, saj se v zapisanem ravnovesju sil (1), ki velja pri enakomernem kroženju, masa telesa krajša. Na telo z večjo maso res deluje večja centripetalna (centrifugalna) sila, a hkrati je tudi sila teže sorazmerna z maso.

To kar pokaže ravnovesje sil, so potrdili tudi izmerjeni podatki, ki smo jih dobili v ponovljenem eksperimentu z vrtiljakom, ko smo pri 2-krat večji masi sedežev vrtiljaka ($m = 4 \text{ g}$), v okviru možne natančnosti pri meritvah dobili enake kote odklona, kot pri začetni masi ($m = 2 \text{ g}$).

2. 5. 3. Vrtiljak je dober didaktični model za prikaz enakomernega kroženja pri pouku fizike v osnovni in srednji šoli.

Pričakovali smo, da bo izdelani vrtiljak, katerega vrti star gramofon z možnostjo nastavitve treh različnih frekvenc vrtenja (kroženja), dober didaktični model za analizo enakomernega kroženja. Ta pričakovanja so se v celoti izpolnila, saj je model vrtiljaka, ki smo ga izdelali zelo preprost za uporabo, hkrati pa omogoča zelo enostavno rokovanje ter merjenje praktično vseh fizikalnih količin potrebnih za opis enakomernega kroženja (obhodni čas, frekvenca, kotna hitrost, obodna hitrost, odklonski kot, polmer kroženja, centripetalna sila, centrifugalna sila) in preverjanje zakonitosti, ki veljajo pri enakomernem kroženju.

Menimo, da bi ta model lahko služil pri pouku fizike v osnovni in srednji šoli, kot učilo za demonstracijo enakomernega kroženja, prav tako pa bi ga lahko samostojno uporabili dijaki za praktične vaje.

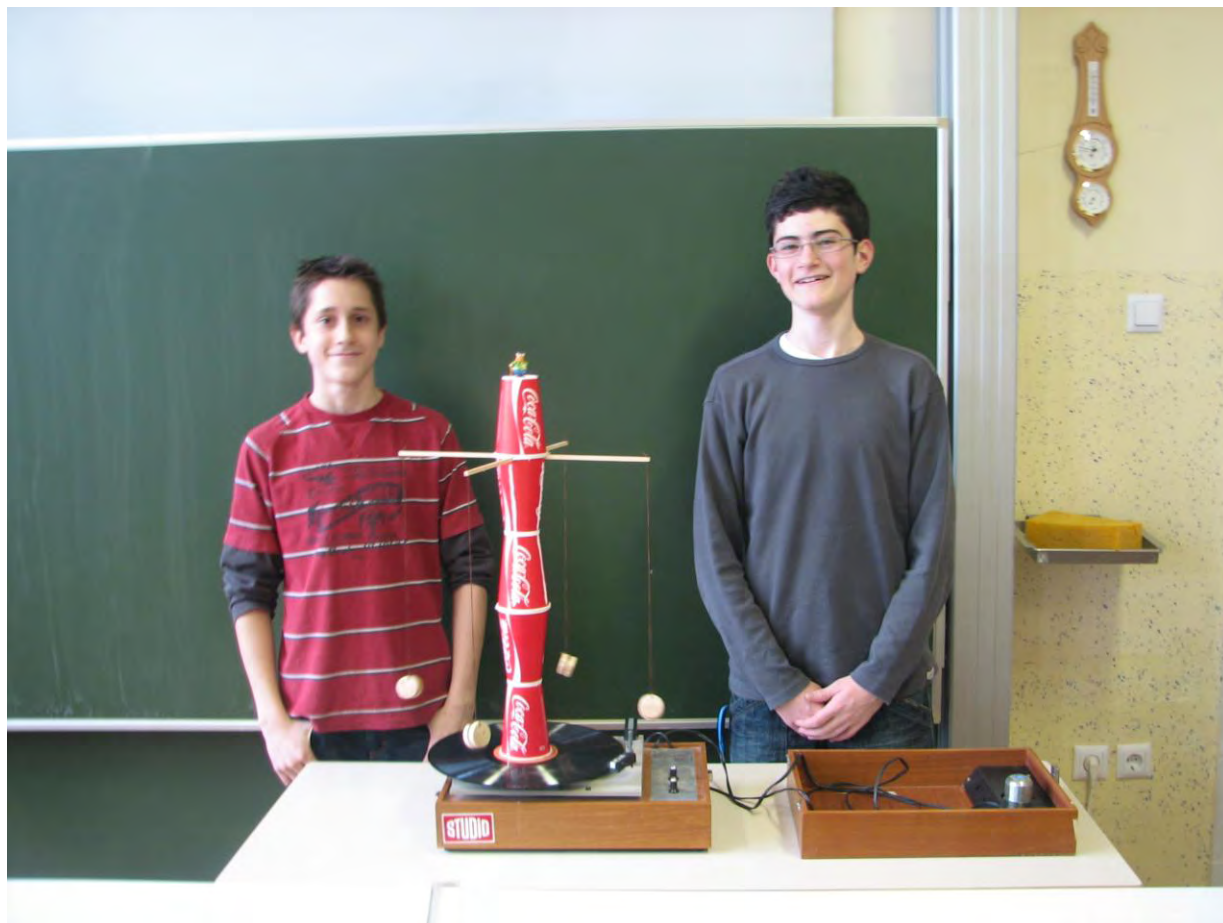
3. ZAKLJUČEK

Motiv za izdelavo naše raziskovalne naloge je izhajal iz zanimivih primerov kroženja v naravi, še posebej izjemno atraktivnega »zidu smrti«, kjer vozniki vozijo po navpični steni. Naloga se nam je v začetku zdela dokaj enostavna, a se je hitro pokazalo, da se za tem zanimivim pojavom skriva relativno zahtevna fizika. Zahtevna zato, ker smo pri fiziki v 9. razredu obravnavali premo gibanje, pri kroženju pa smo se seznanili le z delovanjem sil. V okviru naloge smo se s pomočjo literature in razlage mentorja naučili veliko novih stvari, saj je temeljitejša obravnava kroženja predvidena šele v okviru fizike v srednji šoli.

Atraktivno vožnjo po »zidu smrti« smo želeli prikazati tudi z ustreznim modelom, kjer bi lahko izmerili potrebne podatke in preverili naše hipoteze. Pri izdelavi modela smo si pomagali s starim gramofonom, ki omogoča opazovanje kroženja pri različnih hitrostih. Namesto »zidu smrti« smo izdelali vrtiljak, ki omogoča zelo nazoren prikaz kroženja in merjenje različnih fizikalnih količin, izognemo pa se tudi prevelikemu vplivu trenja.

Zanimivo nam je bilo, da smo lahko gibanje pri vožnji z vrtiljakom tako natančno opisali. Ker je bila naša naloga eksperimentalna, se nam je že od začetka zdela zelo zanimiva in nestrpno smo pričakovali preverjanje hipotez. V okviru naloge smo potrdili dve hipotezi, eno pa smo ovrgli. Izkazalo se je, da drži domneva po kateri večji hitrosti ustreza večji naklon vrvice in obratno – izkazalo se je, da je tangens odklonskega kota sedeža vrtiljaka pri kroženju premo sorazmeren s hitrostjo kroženja in polmerom po katerem kroži telo. V okviru prve hipoteze smo dodatno ugotovili, da je odklon premo sorazmeren s kvadratom hitrosti. Druga hipoteza, kjer smo domnevali, da je odklon krožečega telesa premo sorazmeren z maso telesa, pa se je izkazala za napačno. To nam je sedaj razumljivo, v prvem hipu pa nas je presenetilo – to namreč pomeni, da suhega in debelega človeka na vrtiljaku nese enako daleč os sredine vrtiljaka. Potrdila pa se je tudi naša tretja hipoteza, kjer smo domnevali, da lahko s pomočjo starega gramofona in enostavne konstrukcije vrtiljaka, izdelamo zelo nazorno učilo za pouk fizike v osnovni in srednji šoli. Hipoteze smo preverjali z uporabo fizikalnih zakonitosti in z praktično izdelanim eksperimentom.

V okviru raziskovalne naloge smo se naučili veliko novega, najbolj pa smo ponosni na izdelani model vrtiljaka, ki zelo lepo prikazuje enakomerno kroženje.



Slika 17: Avtorja raziskovalne naloge z izdelanim vrtiljakom

VIRI in LITERATURA

1. Gonick Larry: Fizika v stripu, Tehniška založba Slovenije, 2000
2. Rudolf Kladnik: Fizika za srednješolce, 1 del: Gibanje, sila, snov, DZS, Ljubljana 1996
3. Hinko Šolinc: Skozi fiziko z rešenimi nalogami – Dinamika, Energija, DZS, Ljubljana 1996