

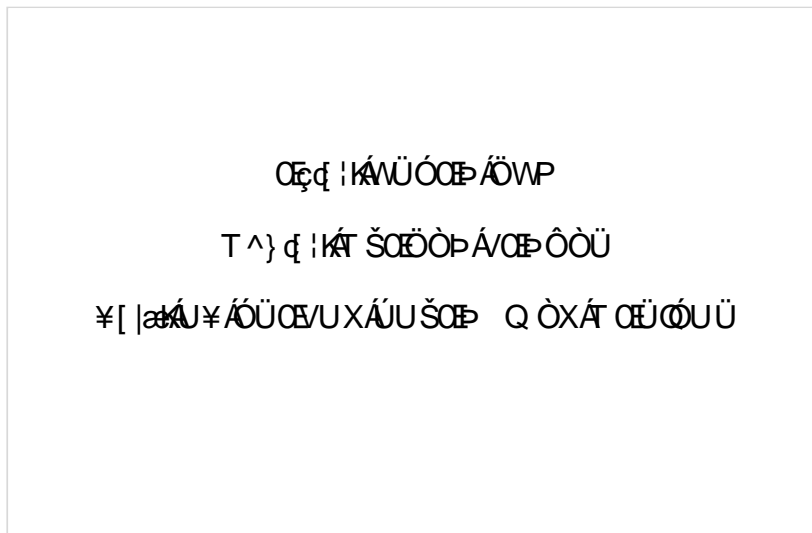
»Mladi za napredek Maribora 2014«

31. srečanje

POSKUSI Z VRTILNO KOLIČINO

Raziskovalno področje: Fizika

Raziskovalna naloga



Maribor, februar 2014

KAZALO

1. POVZETEK	3
2. ZAHVALA	4
3. UVOD, OPREDELITEV NALOGE IN HIPOTEZE	5
4. TEORETIČNI DEL	6
4.1. Vrtenje, kotna hitrost	6
4.2. Vrtilna količina in vztrajnostni moment	8
5. EKSPERIMENTALNI DEL.....	13
5.1. Metodologija.....	13
5.2. Poskusi s helikopterjem.....	17
5.3. Poskusi z modelom helikopterja.	21
5.3. Poskusi s kolesom dvokolesa	24
5.4. Poskusi z ventilatorjem	27
6. UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK.....	30
6.1. Družbena odgovornost	31
7. SEZNAM LITERATURE.....	32
KAZALO SLIK	33
KAZALO TABEL.....	35

1. POVZETEK

V raziskovalni nalogi smo opazovali vrtilno količino telesa in sistema teles. Ugotavljali smo, pod kakšnimi pogoji se vrtilna količina ohranja in kdaj ne. Prav tako smo ugotavljali vpliv porazdelitve mas sistema na vrtilno količino. Poskuse smo izvajali s helikopterjem (igrača), modelom helikopterja, kolesom dvokolesa in z ventilatorjem. V okviru napake pri merjenju smo ugotovili, da se vrtilna količina ohranja, če na telo ali sistem teles ne delujejo zunanji vplivi.

2. ZAHVALA

Mentorju se zahvaljujemo za pomoč in nasvete, staremu očetu in Mirku pa za pomoč pri eksperimentalnem delu.

3. UVOD, OPREDELITEV NALOGE IN HIPOTEZE

Idejo, da bi opravili poskuse z vrtilno količino smo dobili, ko smo v nekem filmu videli, da helikopter ni več mogel manevrirati, ko se mu je pokvaril propeler na zadnjem delu. Na spletu smo našli razlago, da je vzrok fizikalna količina, ki se imenuje vrtilna količina. Vrtilna količina je vektorska količina, ki se pri določenih pogojih ohrani. Če se nek del telesa vrti v neki smeri, se bo drugi del vrtel v nasprotni.

Zanimanje nam je vzbudil tudi članek [2], ki opisuje vpliv vrtilne količine pri plovilih, ki jih poganja ladijski vijak.

Odločili smo se, da bomo izvedli nekaj poskusov pri katerih bomo ugotavljali kdaj se vrtilna količina ohrani in kdaj ne. Preverili smo naslednji hipotezi:

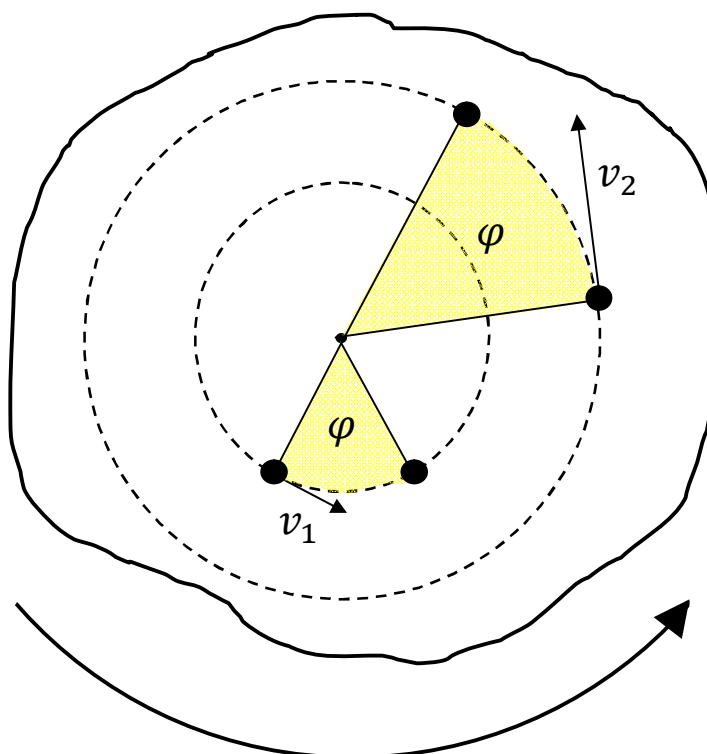
Hipoteza 1: Kadar se vrtilna količina ohrani, je hitrost vrtenja celotnega sistema v nasprotni smeri odvisna od porazdelitve mase sistema.

Hipoteza 2: Kadar na vrteče telo delujejo dodatni vplivi, se vrtilna količina ne ohrani.

4. TEORETIČNI DEL

4.1. Vrtenje, kotna hitrost

Pri vrtenju telesa okrog neke osi, se različni deli vrtijo po različnih krožnicah in z različno hitrostjo. Z oddaljenostjo od osi hitrost narašča.



Slika 1. Vrtenje (lasten arhiv).

Kot φ , za katerega se zavrtijo različni deli telesa v nekem času, pa je neodvisen od lege teh telesa in je povsod enak. Zato je smiselno vpeljati količino, ki je za vse dele telesa enaka. Imenuje se **kotna hitrost** in definicija kotne hitrosti je:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t},$$

kjer je $\Delta\varphi$ kot, za katerega se vrteče telo zavrti v času Δt . Če je vrtenje enakomerno, kar pomeni, da je kotna hitrost ves čas ista, se enačba poenostavi :

$$\omega = \frac{\varphi}{t} [s^{-1}].$$

Enota za kot je radian, ki pa ni fizikalna enota, ker je definiran kot razmerje med lokom na krožnici in polmerom krožnice. Zveza med stopinjami in radiani je zato: 360 stopinj je 2π radianov.

Pri enakomernem vrtenju je značilen obhodni čas T , to je čas, v katerem se telo enkrat zavrti. Iz zadnje enačbe tako sledi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Pri vrtenju se še vpelje frekvenca ν , ki predstavlja število obratov v enoti časa.

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

Sledi zveza:

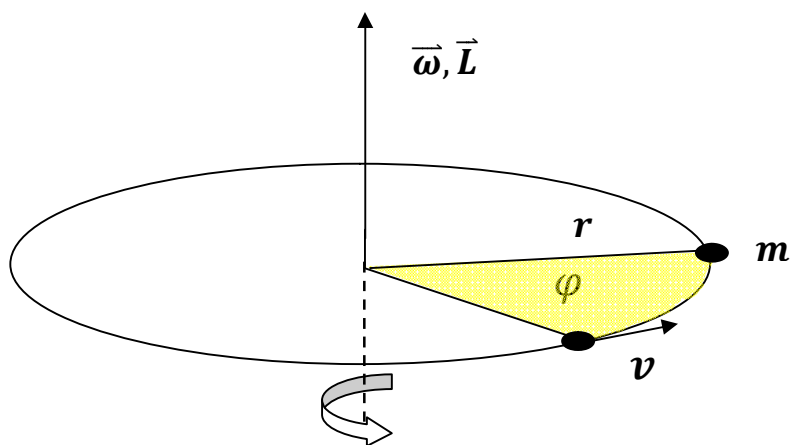
$$\omega = 2\pi\nu.$$

Za hitrost kroženja posameznih delov telesa (obodna hitrost) pa sledi enačba:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \omega r.$$

4.2. Vrtilna količina in vztrajnostni moment

Ko se majhno telo vrtni v neki ravnini, se lahko vrtni v smeri urinega kazalca ali v obratni smeri, pri čemer je smer obodne hitrosti različna. Količinam, pri katerih je pomembna tudi smer, pravimo vektorji. Zaradi tega se kotna hitrost v fiziki vpelje kot vektorska količina $\vec{\omega}$. Smer vektorja kotne hitrosti je definirana z desnim vijakom; če se telo v vodoravni ravnini vrtni v smeri urinega kazalca, kaže vektor kotne hitrosti pravokotno v ravnino. Če se pa vrtni v obratni smeri, kaže vektor pravokotno iz ravnine.



Slika 2. Smer kotne hitrosti in vrtilne količine (lasten arhiv).

Pri vrtenju teles se pokaže, da je zelo pomembna fizikalna količina, ki se imenuje **vrtilna količina** (\vec{L}). Pri vrtenju majhnega telesa okrog stalne osi, kot je razvidno na zgornji sliki, je absolutna vrednost vrtilne količine enaka:

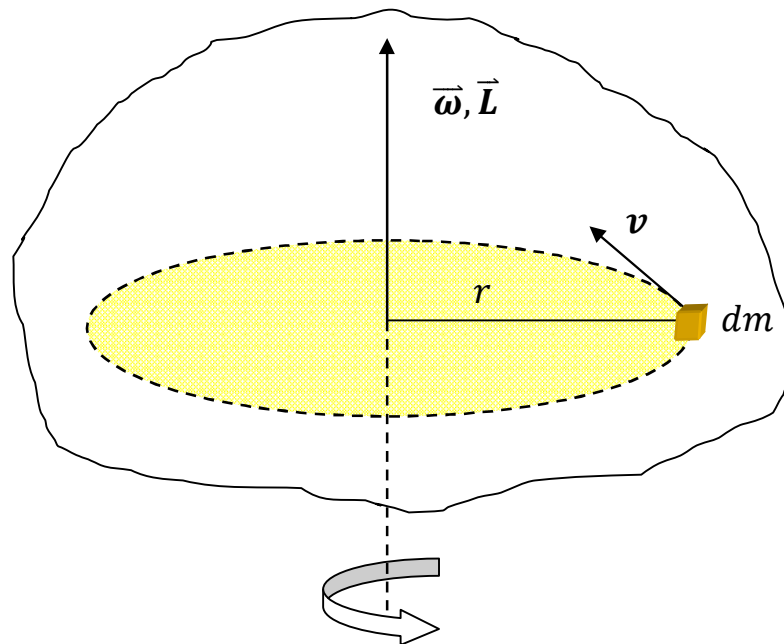
$$L = mvr.$$

Z upoštevanjem zadnje enačbe na strani 7 pa dobimo zvezo med kotno hitrostjo in vrtilno količino :

$$\vec{L} = mr^2\vec{\omega}.$$

Vrtilno količino (\vec{L}) in kotno hitrost ($\vec{\omega}$) smo označili krepko, ker sta obe količini vektorski. **Vrtilna količina ima isto smer kot kotna hitrost [1].**

Če je vrteče se telo razsežno, si ga lahko mislimo sestavljenega iz množice majhnih teles.



Slika 3. Vrtilna količina razsežnega telesa (lasten arhiv).

Vrtilna količina takšnega telesa je enaka vsoti vrtilnih količin majhnih teles z maso dm (kotna hitrost je na različnih mestih enaka).

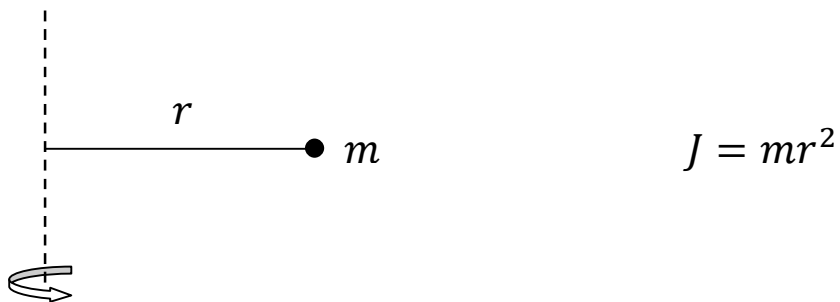
$$\vec{L} = \sum dm r^2 \cdot \vec{\omega}.$$

Vsota $\sum dm r^2$ se imenuje **vztrajnostni moment** telesa in se označi s črko J . Takšni vsoti pravijo integral.

$$J = \sum r^2 dm \rightarrow \int r^2 dm.$$

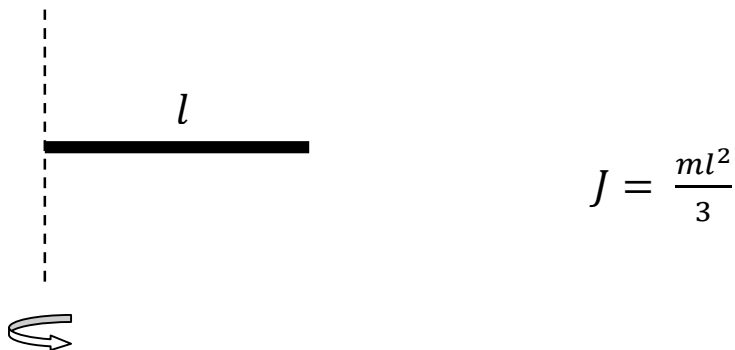
Vztrajnostni moment je lastnost telesa. Odvisen je od oblike telesa (porazdelitve mase) in od lege osi. V fizikalnih učbenikih [1] lahko najdemo vztrajnostne momente za nekatera telesa:

1. Majhno telo z maso m se vrti v razdalji r od osi:



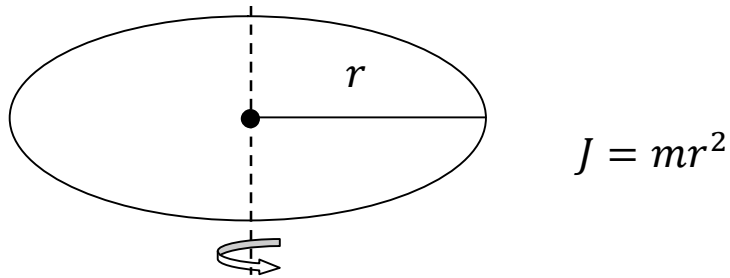
Slika 4. Vztrajnostni moment majhnega telesa (lasten arhiv).

2. Tanka palica z maso m in dolžino l se vrti okrog svojega konca:



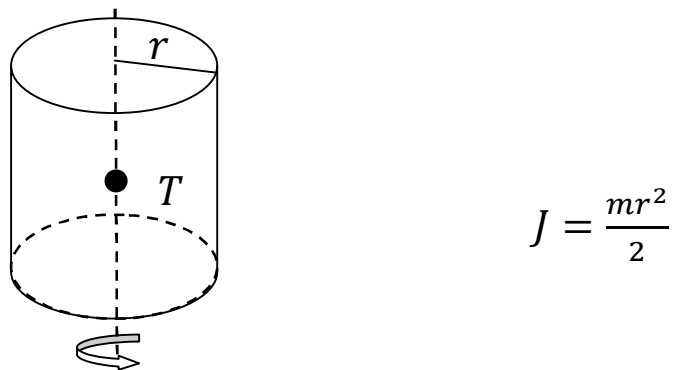
Slika 5. Vztrajnostni moment palice, ki se vrti okoli svojega konca (lasten arhiv).

3. Tanek obroč se vrti okrog težiščne osi:



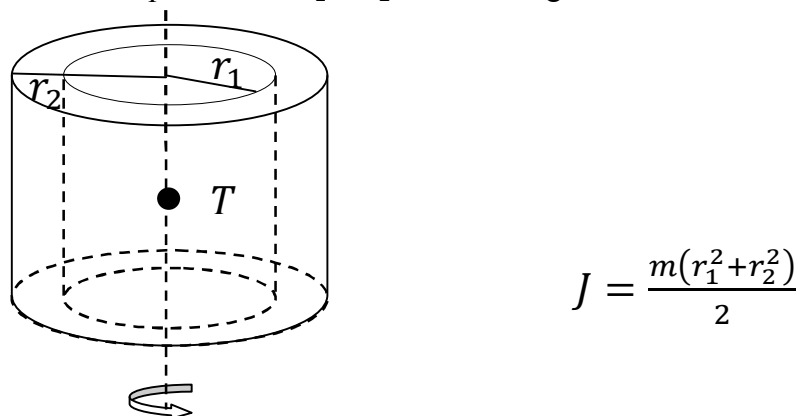
Slika 6. Vztrajnostni moment tankega obroča okrog težiščne osi (lasten arhiv).

4. Valj z maso m in polmerom r se vrti okrog vzdolžne težiščne osi:



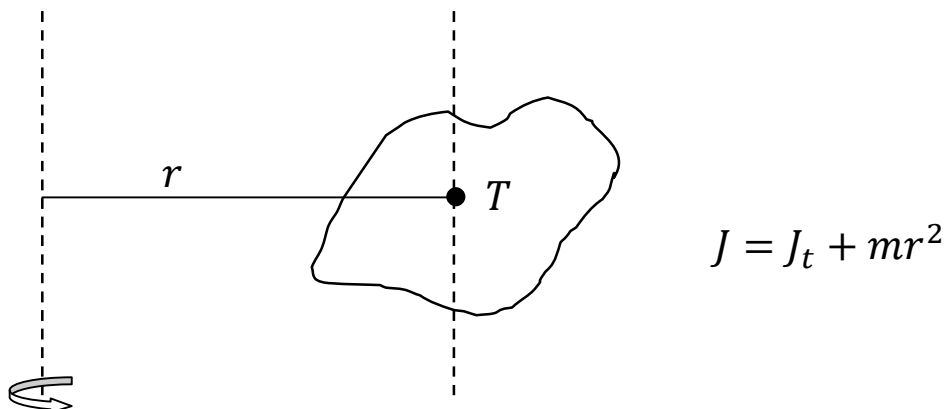
Slika 7. Vztrajnostni moment valja (lasten arhiv).

5. Voteli valj z maso m in polmeroma r_1 in r_2 se vrti okrog vzdolžne težiščne osi:



Slika 8. Vztrajnostni moment votlega valja (lasten arhiv).

Če se telo vrti okrog neke druge osi, ki je vzporedna težiščni osi, si pomagamo s Steinerjevim pravilom.



Slika 9. Steinerjevo pravilo (lasten arhiv).

Kjer je J_t vztrajnostni moment okrog težiščne osi, r pa razdalja med težiščem telesa in osjo vrtenja.

Končna enačba, ki povezuje vrtilno količino in kotno hitrost je tako:

$$\vec{L} = J\vec{\omega}.$$

Pomembna lastnost vrtilne količine telesa ali sistema teles je, da se pod določenimi pogoji ohrani. To pomeni, da se ne spremenita velikost in smer vrtilne količine. **Vrtilna količina se ohrani takrat, kadar ne delujejo na telo zunanji vplivi [1]** (sile, ki povzročajo navore). Namen naše raziskovalne naloge je bil, da to lastnost vrtilne količine preverimo s poskusom.

5. EKSPERIMENTALNI DEL

5.1. Metodologija

Poskuse smo izvajali v stanovanju in hodniku stavbe na Koroški cesti v Mariboru. Izvedli smo štiri sklope poskusov pri katerih smo opazovali vrtilno količino (njeno ohranitev ali spreminjanje).

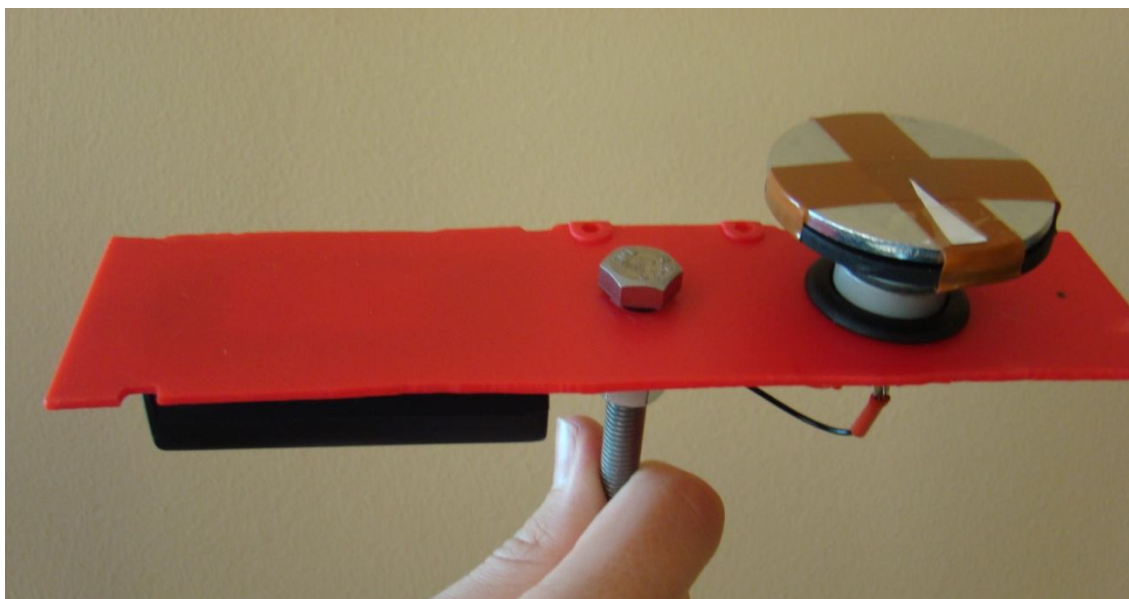
1. Helikopter (igrača).



Slika 10. Helikopter (igrača) (lasten arhiv).

Kupili smo helikopter-igračo na daljinsko vodenje proizvajalca Silverlit. Pri poskusih s helikopterjem smo ugotavljali, kako glavni in repni rotor vplivata na vrtilno količino helikopterja.

2. Model helikopterja



Slika 11. Model helikopterja (lasten arhiv).

Model helikopterja je bil sestavljen iz plastične plošče, motorčka, ki je vrtel tanek kovinski valj, ohišja z baterijskimi vložki in osi skozi težišče. Z vrtenjem kovinskega valja v neki smeri, smo merili vrtenje celotnega sistema v obratni smeri vrtenja valja. Ugotavljali smo tudi vpliv vztrajnostnega momenta na vrtilno količino.

3. Kolo dvokolesa



Slika 12. Kolo za poskuse (lasten arhiv).

Ugotavljali in merili smo vpliv vztrajnostnega momenta na vrtilno količino kolesa, ki se je vrtelo okrog navpične osi skozi težišče.

4. Ventilator



Slika 13. Ventilator (lasten arhiv).

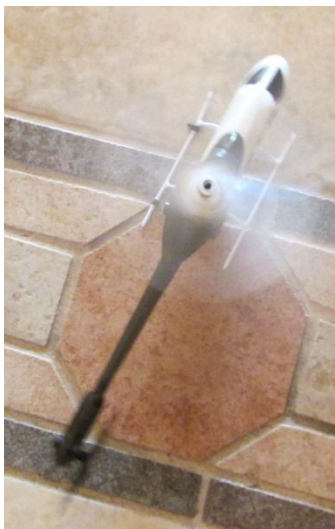
Z ventilatorjem Handy Fan 00673 proizvajalca Ampercell smo ugotavljali vpliv ventilatorjevega rotorja na vrtilno količino ventilatorja, obešenega v težišču.

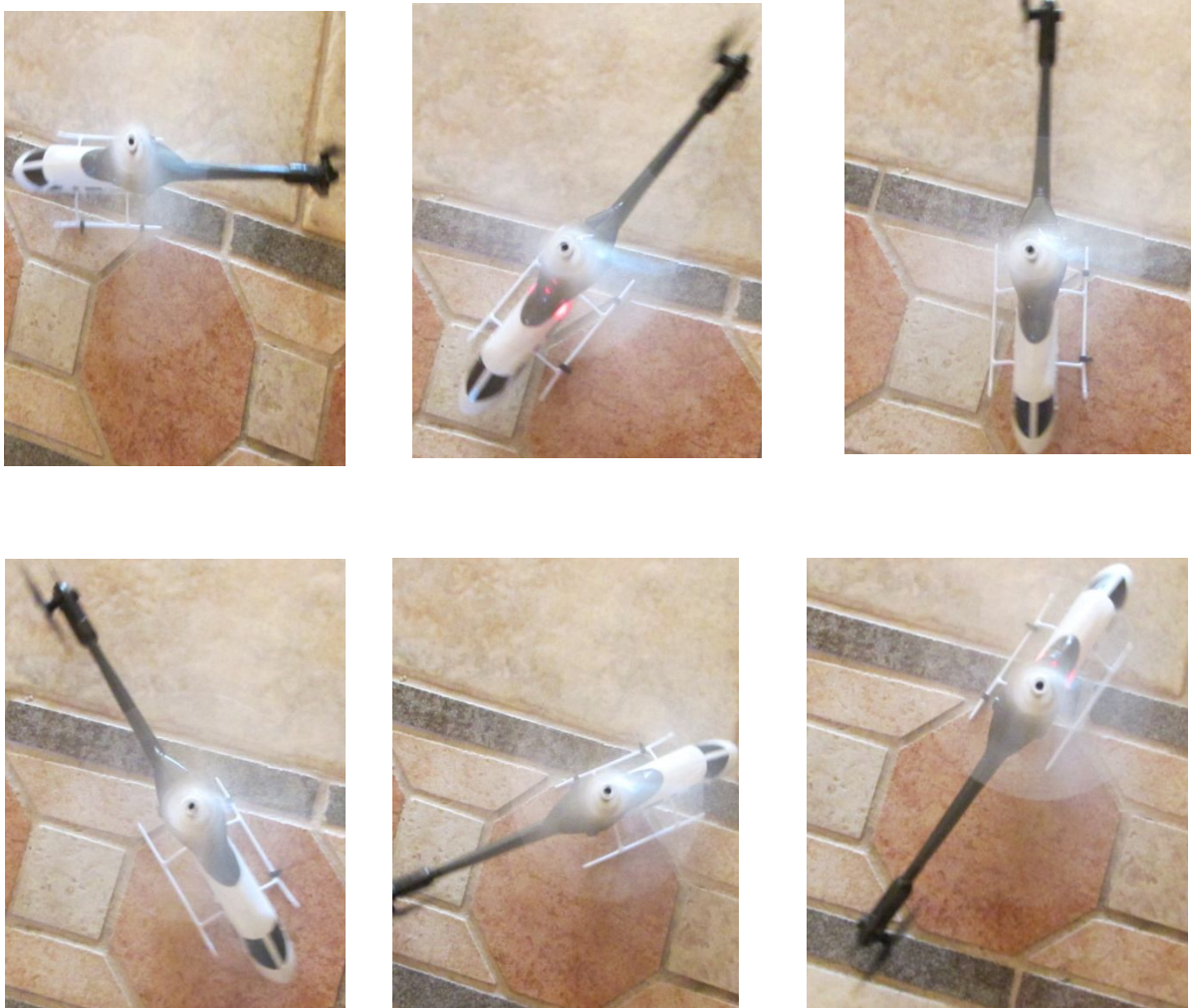
5.2. Poskusi s helikopterjem

Helikopterju, s katerim smo delali poskuse, smo lahko spreminjali kotno hitrost glavnega in repnega rotorja. V pomoč sta nam bila članka [4] in [5]. Glavni rotor je imel dva kraka. Pri dovolj veliki kotni hitrosti glavnega rotorja se je helikopter dvigal. S spreminjanjem nagiba obeh krakov glavnega rotorja, se je helikopter gibal naprej ali nazaj.

Glavni namen našega poskusa je bilo ugotavljanje vpliva repnega rotorja na helikopter.

Pri prvem poskusu smo helikopter postavili na gladka tla in vklopili glavni rotor, ki se je vrtel v smeri urnega kazalca. Kotna hitrost glavnega rotorja je bila dovolj majhna, da se helikopter ni dvigoval. Kotno hitrost repnega rotorja smo nastavili na minimalno vrednost, ki jo je dovoljeval daljinski upravljalac helikopterja.

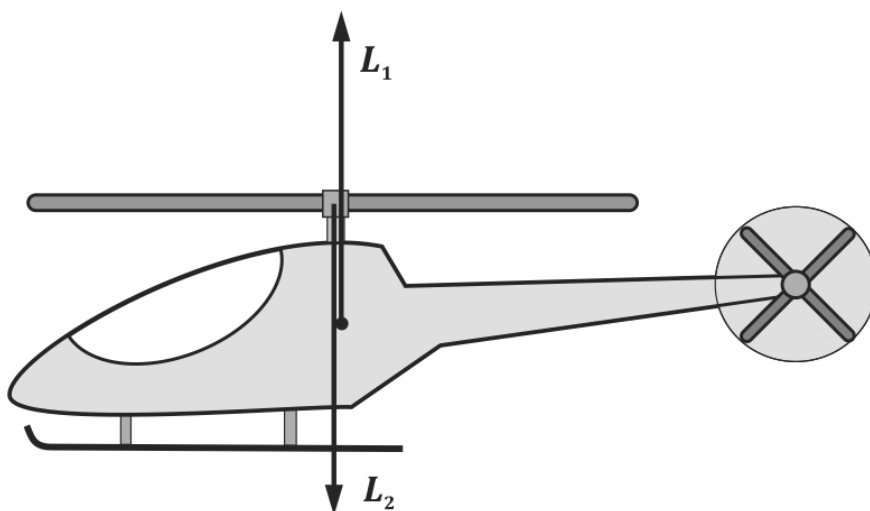




Slika 14. Vrtenje helikopterja na podlagi (lasten arhiv).

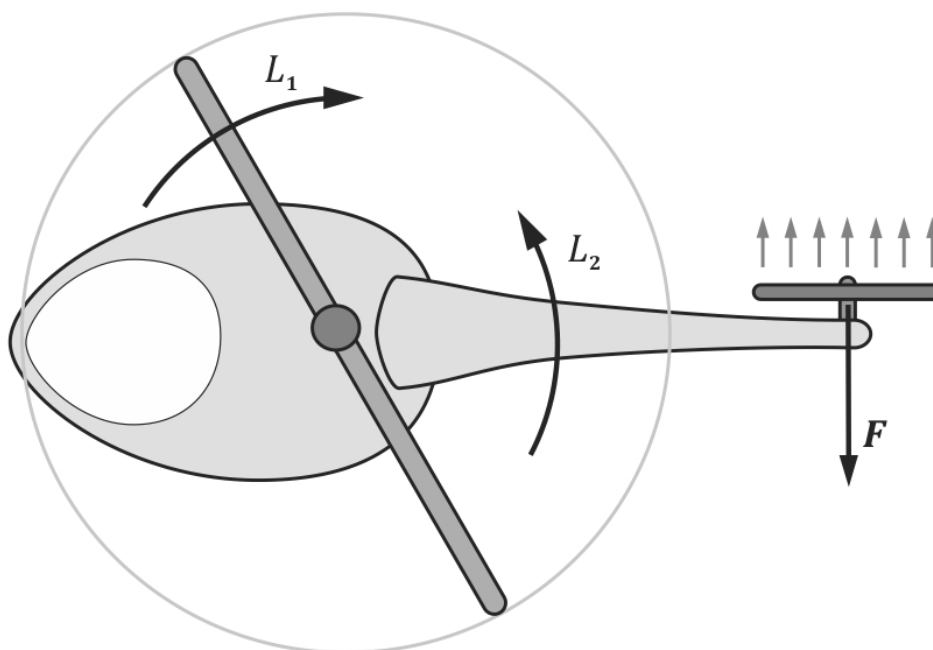
Po vklopu glavnega rotorja, se je celotni helikopter vrtel (drsel po podlagi) v nasprotni smeri. Vrtenje helikopterja v **nasprotni** smeri razložimo tako:

Preden smo vključili glavni rotor, je helikopter miroval in skupna vrtilna količina je bila enaka nič. Ko vključimo glavni rotor, ne delujejo zunanji vplivi, zato se mora vrtilna količina ohraniti. Kolikšna je vrtilna količina glavnega rotorja (\vec{L}_2) ki ima smer navpično navzdol, tolikšna mora biti vrtilna količina helikopterja v navpični smeri navzgor (\vec{L}_1). Vsota obeh vektorjev je tako enaka nič.



Slika 15. Ohranitev vrtilne količine (lasten arhiv).

Ko pa je helikopter v zraku, pa vrtenje trupa prepreči repni rotor, ki zaradi vrtenja odriva zrak (ventilator). Reakcijska sila na rotor pa uravnovesi vrtilno količino trupa helikopterja.



Slika 16. Sila F uravnovesi vrtenje helikopterja (lasten arhiv).

V ravnovesnem stanju, ko helikopter lebdi v zraku, vrtenje glavnega rotorja uravnovesi težo helikopterja, repni rotor pa prepreči vrtenje trupa helikopterja. Ko smo v takem stanju močno zmanjšali število vrtljajev repnega rotorja, se je helikopter začel vrteti in začel je padati.

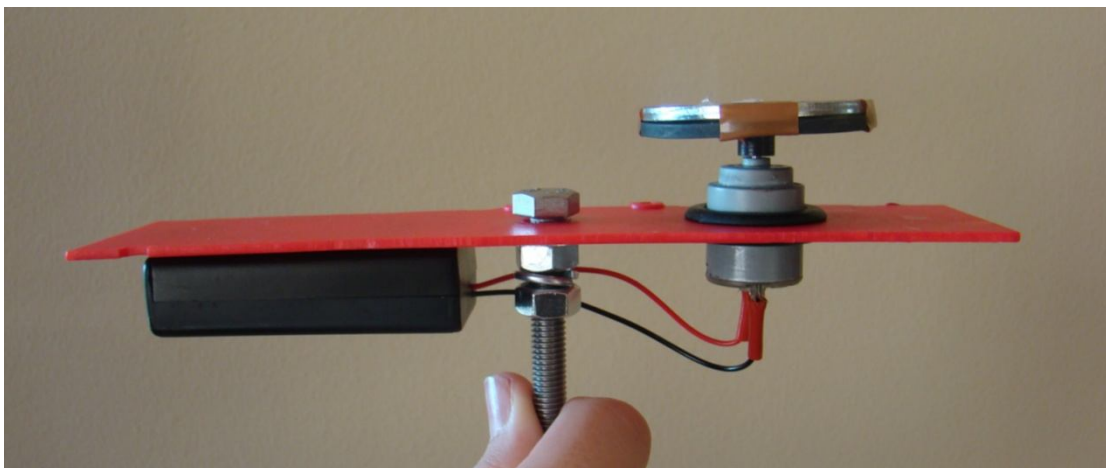


Slika 17. Vrtenje helikopterja po »odpovedi« repnega rotorja. (lasten arhiv).

5.3. Poskusi z modelom helikopterja.

Model helikopterja smo sestavili iz plastične ploščice, motorčka, ki je vrtel tanek valj in dveh baterijskih vložkov. S preizkušanjem smo ugotovili lego težišča in skozi težišče namestili vijak, okoli katerega se je lahko model vrtel. Priključen motorček je vrtel valj v nasprotni smeri urnega kazalca, model pa se je začel vrteti v nasprotni smeri. **Vrtenje modela v nasprotni smeri je posledica ohranitve vrtilne količine.** Obodno hitrost valja smo poznali, saj smo jo že izmerili pri izvedbi raziskovalne naloge »Poskusi s papirnatimi letali« iz leta 2012 [3]. Polmer valja smo izmerili in določili kotno hitrost valja. Dobili smo:

$$\omega_0 = 221(1 \pm 0,054)s^{-1}.$$

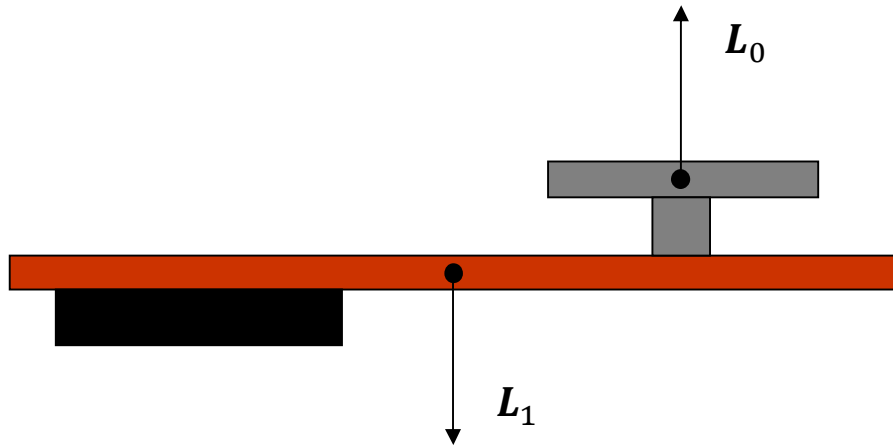


Slika 18. Model helikopterja (lasten arhiv).

Z modelom smo naredili dva poskusa.

Pri prvem poskusu smo vključili motorček in izmerili čas desetih vrtljajev modela v nasprotni smeri. Poskus smo večkrat ponovili. Iz podatkov smo izračunali povprečno vrednost obhodnega časa in nato izračunali kotno hitrost.

$$\omega_1 = 11,4(1 \pm 0,05)s^{-1}.$$



Slika 19. Ohranitev vrtilne količine pri modelu helikopterja (lasten arhiv).

Ker se vrtilna količina ohranja, lahko zapišemo naslednjo enačbo:

$$J_0 \omega_0 = J_1 \omega_1,$$

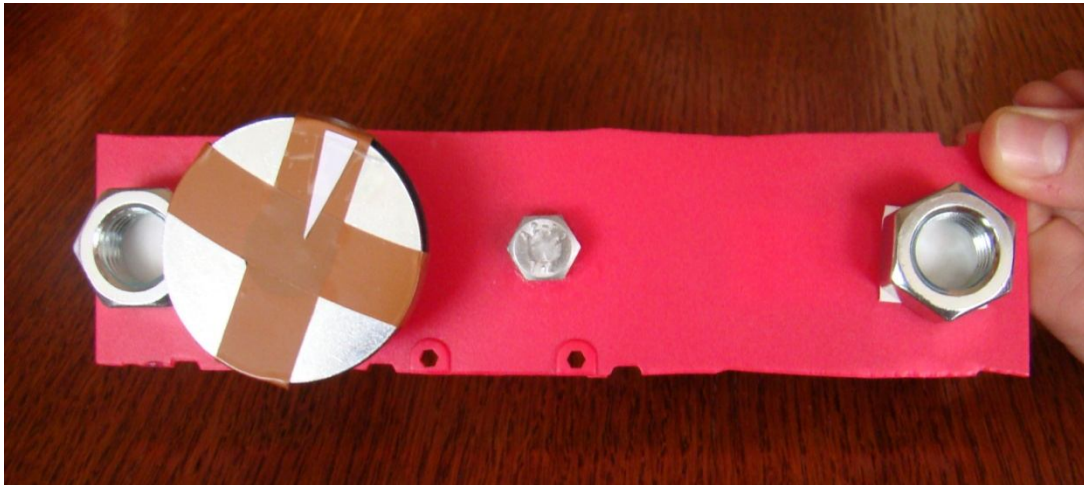
kjer je J_0 vztrajnostni moment valja okrog njegove težiščne osi, J_1 pa vztrajnostni moment celotnega modela helikopterja okrog skupne težiščne osi. Maso in polmer valja smo izmerili ($m = 46,5 \text{ g}$, $r = 2,5 \text{ cm}$) in izračunali vztrajnostni moment:

$$J_0 = \frac{mr^2}{2} = 1,45 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2.$$

Iz prejšnje enačbe lahko izračunamo vztrajnostni moment celotnega modela helikopterja okoli težiščne osi. Napako ocenimo iz napake za obe kotni hitrosti.

$$J_1 = 28,1 \cdot 10^{-5} (1 \pm 0,05) \text{ kg m}^2.$$

Pri drugem poskusu smo na plastično ploščico simetrično (v razdalji 8cm od težišča) pritrdili dve matici, ki sta podobni votlemu valju.



Slika 20. Model helikopterja z dvema maticama (lasten arhiv).

Maticama smo izmerili maso in oba polmera. Z uporabo Steinerjevega pravila smo izračunali vztrajnostni moment obeh matic.

$$J_2 = 2\left(\frac{m(r_1^2 + r_2^2)}{2} + mr^2\right).$$

Podatki so bili naslednji: $m=29,75\text{g}$, $r_1=8\text{mm}$, $r_2=11\text{mm}$, $r=8\text{cm}$. Rezultat je:

$$J_2 = 38,4 \cdot 10^{-5} \text{kg m}^2.$$

Vztrajnostni moment matic pa smo želeli tudi izmeriti in tako preveriti ohranitev vrtilne količine.

Tako kot pri prvem poskusu smo vključili motorček, večkrat izmerili čas desetih vrtljajev in izračunali povprečno vrednost kotne hitrosti.

$$\omega_2 = 4,72(1 \pm 0,04)\text{s}^{-1}.$$

Ker se vrtilna količina ohranja, velja enačba:

$$J_0\omega_0=(J_1 + J_2)\omega_2.$$

Iz enačbe izračunamo J_2 in ocenimo napako:

$$J_2 = 39,8 \cdot 10^{-5}(1 \pm 0,04)kg m^2.$$

Ujemanje je presenetljivo dobro, kar potrjuje ohranitev vrtilne količine in našo prvo hipotezo.

5.3. Poskusi s kolesom dvokolesa

Kolo smo dobili v znani trgovini za kolesa v Mariboru, kjer imajo tudi servis, tako da smo lahko stehali in izmerili posamezne dele kolesa: obroč, napere (špice), pesto in os. Podatki so naslednji: masa obroča 435g, njegov polmer 28 cm, masa posamezne napere (34 naper) 7,71g, dolžina napere 26 cm, masa peste 200g in njen polmer 1cm, masa osi 80g, kar pa ni bistveno, saj se os ne vrti. Te podatke in njihove dimenzije smo potrebovali za izračun vztrajnostnega momenta kolesa okoli težiščne osi. Vztrajnostni moment kolesa je vsota vztrajnostnih momentov obroča, naper in peste.

$$J_0=J_o + J_n + J_p.$$

Za vztrajnostni moment obroča smo upoštevali enačbo za obroč, za napere enačbo za palico, za pesto pa enačbo za valj. Rezultat je:

$$J_0=34,1 \cdot 10^{-3} kg m^2 + 5,91 \cdot 10^{-3} kg m^2 + 1 \cdot 10^{-5} kg m^2.$$

Dobimo:

$$J_0 = 40,02 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2.$$

Nenatančnost izračuna ocenimo na 2% in je posledica oboda kolesa ki ni tanek obroč in napere ne izhajajo povsem radialno iz peste do obroča.

Vztrajnostni moment kolesa pa smo želeli tudi izmeriti in ga primerjati z izračunanim. Na dve nasprotni naperi smo »napeljali« dve 200 gramski uteži iz svinca. Naperi smo dobro namazali, tako da sta uteži drseli po naperah praktično brez trenja. Kolo smo vpeli v primež tako, da se je kolo lahko vrtelo v vodoravni ravnini. Namen poskusa s kolesom je bil, da bi preverili ohranitev vrtilne količine ko ne delujejo zunanji vplivi.



Slika 21. Uteži ob osi (lasten arhiv).

Obe uteži smo potegnili do osi kolesa in ju s sukancem povezali preko obroča. Kolo smo zavrteli in izmerili obhodni čas. Nato smo z ostrim nožem prerezali sukanec, uteži sta se pomaknili do obroča in izmerili smo novi obhodni čas. Poskus smo večkrat ponovili.



Slika 22. Uteži na obodu (lasten arhiv).

Zaradi ohranitve vrtilne količine velja:

$$(J_0 + J_1)\omega_1 = (J_0 + J_2)\omega_2,$$

kjer je J_1 vztrajnostni moment uteži na začetku (ob osi), J_2 vztrajnostni moment uteži na koncu (na obodu), ω_1 in ω_2 pa obe kotni hitrosti. Privzeli smo, da sta uteži majhni in da zanju velja enačba za vztrajnostni moment majhnega telesa. Iz zadnje enačbe izračunamo vztrajnostni moment kolesa.

$$J_0 = \frac{2m(T_1 r_2^2 - T_2 r_1^2)}{T_2 - T_1},$$

kjer je m masa posamezne uteži (200g), r_1 je začetna oddaljenost uteži od osi (5cm), r_2 končna oddaljenost uteži od osi (26cm), T_1 in T_2 pa oba obhodna časa. Namen poskusa je bil, da smo izmerjeni vztrajnostni moment kolesa primerjali z izračunanim. Rezultati so razvidni iz naslednje tabele:

Tabela 1. Meritve vztrajnostnega momenta kolesa.

meritev	T_1 [s]	T_2 [s]	izmerjen J_0 [$kg\ m^2$]	izračunan J_0 [$kg\ m^2$]
1	0,87	1,52	$33,8 \cdot 10^{-3}$	$40,02 \cdot 10^{-3}$
2	0,92	1,64	$32,2 \cdot 10^{-3}$	
3	0,83	1,34	$41,4 \cdot 10^{-3}$	
4	0,94	1,61	$35,5 \cdot 10^{-3}$	
5	0,85	1,32	$46,1 \cdot 10^{-3}$	

Povprečna vrednost izmerjenega vztrajnostnega momenta kolesa je:

$$37,8(1 \pm 0,22) \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^2.$$

Izračunana vrednost je znotraj intervala napake izmerjene vrednosti. Sorazmerno velika nenatančnost meritve je posledica trenja pri vrtenju kolesa in drsenju uteži, vpliva pri prerezanju vrvice in da smo uteži obravnavali kot majhni (točkasti) telesi.

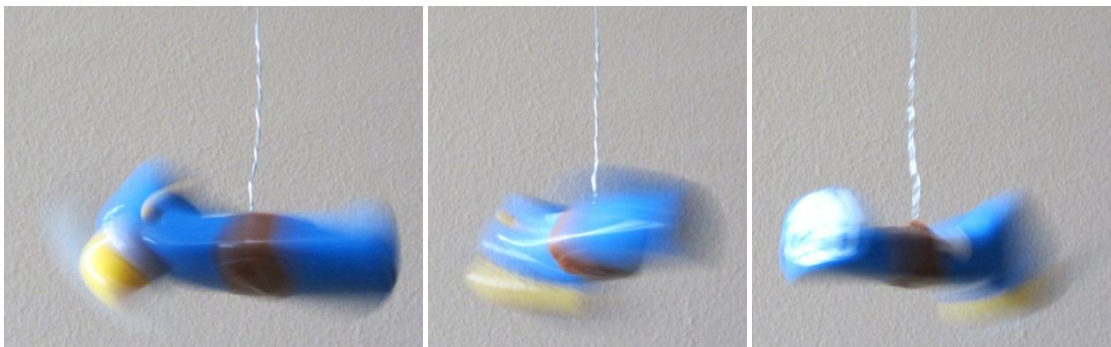
5.4. Poskusi z ventilatorjem

Idejo za ta poskus smo dobili na spletni strani www.youtube.com [6], kjer je opisan poskus, ki bi naj ponazarjal ohranitev vrtilne količine. Hitrost vrtenja ventilatorja na posnetku je bila po našem mnenju prevelika, zato smo se odločili, da ta poskus ponovimo. Ventilator, ki je zelo podoben tistemu na posnetku, smo kupili v trgovini Conrad. Ventilator smo obesili na žico v težišču tako, da se je lahko vrtel v vodoravni ravnini. Frekvenco vrtenja elise ventilatorja smo ocenili na približno $20\ s^{-1}$.



Slika 23. Ventilator visi na žici (lasten arhiv).

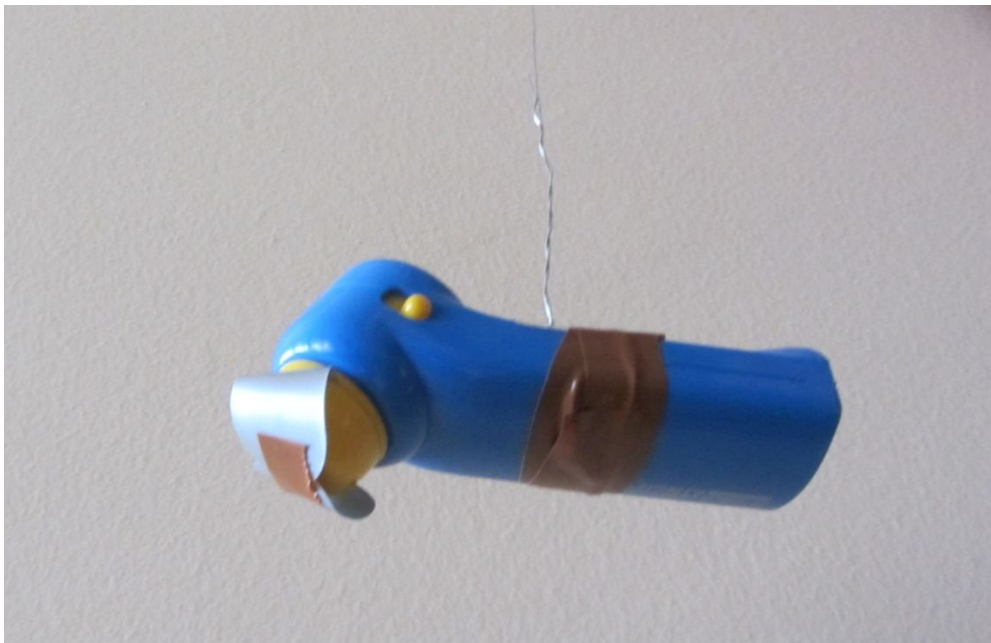
V ravnovesni legi smo priključili vrtenje elise ventilatorja in celoten ventilator se je začel vrteti v nasprotni smeri, kar je v soglasju z ohranitvijo vrtilne količine.



Slika 24. Vrtenje ventilatorja z eliso (lasten arhiv).

Frekvenco vrtenje celotnega ventilatorja smo ocenili na približno 10 s^{-1} , kar je bilo po našem mnenju preveč. Pomislili smo, da na celotni ventilator deluje dodatna sila, ki je posledica reakcijske sile okoliškega zraka na eliso ventilatorja in da se zaradi tega vrtilna količina ne ohranja saj deluje na sistem dodatna sila. Zato smo poskus ponovili

tako, da smo eliso ventilatorja »odstranili«. S tem smo sicer nekoliko zmanjšali vztrajnostni moment, kar pa je bilo zaradi majhne mase elise zanemarljivo.



Slika 25. Ventilator brez elise (lasten arhiv).

Ko smo vklopili ventilator brez elise, se je celotni ventilator začel vrteti v nasprotno smer samo še s frekvenco približno 2 s^{-1} , kar pa je posledica ohranitve vrtilne količine. Tako smo ugotovili, da se v prejšnjem poskusu vrtilna količina ni ohranila in da je delovala na sistem dodatna zunanja sila, ki je povečala vrtilno količino.

6. UGOTOVITVE IN ZAKLJUČEK

V raziskovalni nalogi smo naredili nekaj poskusov, s katerimi smo želeli preveriti kaj se dogaja z vrtilno količino pri nekem telesu oziroma sistemu teles. Naredili smo štiri sklope poskusov; s helikopterjem (igračo), modelom helikopterja (ki smo ga izdelali sami), s kolesom dvokolesa in z ventilatorjem.

Pri poskusu z helikopterjem smo ugotovili, da v kolikor repni rotor ni vključen, se vrtilna količina ohranja in celoten helikopter se vrtil v nasprotno smer kot glavni rotor. Let helikopterja v takem stanju ni mogoč. Za letenje je potreben repni rotor, ki s svojim vrtenjem povzroči silo (navor) s katero uravnovesi vrtilno količino helikopterja. Nismo opravili nobenih konkretnih meritev, saj smo želeli samo ugotavljati vpliv vrtilne količine na let helikopterja.

Pri modelu helikopterja, ki smo ga izdelali sami, pa smo lahko izvedli tudi meritve. Izračunali in izmerili smo vrtilno količino in vztrajnostni moment posameznih delov našega modela. S temi podatki smo izmerili vztrajnostni moment znanega telesa in ga primerjali z izračunanim. Razlika je bila manj kot 4 %. Menimo, da je ujemanje zelo dobro, saj meritev ni bila idealno izvedena.

Pri poskusu s kolesom dvokolesa, smo ugotavljali, kako porazdelitev mas sistema vpliva na vrtilno količino. Ker pri poskusu ni bilo vpliva zunanjih sil, se je morala vrtilna količina ohraniti. To smo preverjali tako, da smo primerjali izračunani in izmerjeni vztrajnostni moment celotnega kolesa. V tem primeru je bilo ujemanje slabše, kot pri prejšnjem poskusu (6 %), nenatančnost meritve pa zelo velika, približno 22 %.

Poskuse z ventilatorjem smo izvedli samo zato, da bi jih primerjali s poskusom na spletni strani www.youtube.com [6]. Ugotovili smo, da se vrtilna količina ne ohranja, saj na ventilator deluje zunanja sila (navor).

Čeprav nismo izvedli konkretnih meritev, so poskusi s helikopterjem potrdili obe naši hipotezi. Vpliv repnega rotorja pa v celoti **potrjuje našo drugo hipotezo**. Enaka

ugotovitev velja tudi za poskuse z ventilatorjem. **Zunanji vpliv spremeni vrtilno količino.**

S poskusi z modelom helikopterja in s kolesom smo ugotovili, da je **vrtilna količina odvisna od porazdelitve mas**, torej od vztrajnostnega momenta, kar **potrjuje našo prvo hipotezo**. Prvo hipotezo smo potrdili tudi z meritvami. V okviru natančnosti meritev, se izračunane in izmerjene količine ujemajo.

6.1. Družbena odgovornost

Po spletu in tudi v trgovinah je možno kupiti različne helikopterje (igračke). Večji so namenjeni za zunanjo uporabo, manjše, takšnega smo imeli tudi mi, pa je možno uporabljati v stanovanju. Helikopterji so dvoje vrst. Ena vrsta ima glavni in repni rotor, druga pa dva »glavna« rotorja na isti osi, ki pa se vrtita v nasprotnih smereh. Druga vrsta ima tudi repni rotor, ki pa se vrti v horizontalni ravnini in skrbi, da se helikopter ne »prekucne«. Pri prvi vrsti repni rotor »uravnoveša« vrtilno količino glavnega rotorja in omogoča spreminjanje smeri letenja, pri drugi vrsti pa je spreminjanje smeri letenja omogočeno s spreminjanjem kotnih hitrosti obeh rotorjev. Cene so približno enake. Mnenja smo, da je manevriranje lažje pri helikopterjih z dvema »glavnima« rotorjema in s horizontalnim repnim.

Čeprav so možnosti poškodb pri uporabi helikopterja minimalne, je potrebno biti previden. Prostor, kjer bo letel helikopter, mora biti dovolj velik in odstraniti je potrebno ovire. Najbolje je opazovati iz »varne razdalje«.

7. SEZNAM LITERATURE

- [1] Rudolf Kladnik: Visokošolska fizika 1. del. DZS, Ljubljana 1985.
- [2] Mojca Čepič: Podmornica na vzmet-kako deluje v vesolju in na zemlji. Presek, letnik 26 (1998-1999), št. 4, strani 194-197.
- [3] Urban Duh, Mitja Žužek: Poskusi s papirnatimi letali, Mladi za napredek Maribora, 2012, raziskovalna naloga.
- [4] <http://forum.modelarji.com/viewtopic.php?t=22525>
(12. 1. 2014)
- [5] http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2008_2009/Aerodinamika_Helikopterjev.pdf
(12. 1. 2014)
- [6] https://www.youtube.com/watch?v=E9chr_-3kDk
(12. 1. 2014)
- [7] Jana Padežnik Gomilšek: Osnove fizike, Fakulteta za strojništvo, Maribor, 2008.

KAZALO SLIK

Slika 1. Vrtenje (lasten arhiv).....	6
Slika 2. Smer kotne hitrosti in vrtilne količine (lasten arhiv).....	8
Slika 3. Vrtilna količina razsežnega telesa (lasten arhiv).	9
Slika 4. Vztrajnostni moment majhnega telesa (lasten arhiv).....	10
Slika 5. Vztrajnostni moment palice, ki se vrti okoli svojega konca (lasten arhiv).	10
Slika 6. Vztrajnostni moment tankega obroča okrog težiščne osi (lasten arhiv). ...	11
Slika 7. Vztrajnostni moment valja (lasten arhiv).	11
Slika 8. Vztrajnostni moment votlega valja (lasten arhiv).	11
Slika 9. Steinerjevo pravilo (lasten arhiv).	12
Slika 10. Helikopter (igrača) (lasten arhiv).	13
Slika 11. Model helikopterja (lasten arhiv).	14
Slika 12. Kolo za poskuse (lasten arhiv).	15
Slika 13. Ventilator (lasten arhiv).	16
Slika 14. Vrtenje helikopterja na podlagi (lasten arhiv).	18
Slika 15. Ohranitev vrtilne količine (lasten arhiv).	19
Slika 16. Sila F uravnovesi vrtenje helikopterja (lasten arhiv).	19
Slika 17. Vrtenje helikopterja po »odpovedi« repnega rotorja. (lasten arhiv).	20
Slika 18. Model helikopterja (lasten arhiv).	21
Slika 19. Ohranitev vrtilne količine pri modelu helikopterja (lasten arhiv).	22
Slika 20. Model helikopterja z dvema maticama (lasten arhiv).	23
Slika 21. Uteži ob osi (lasten arhiv).	25
Slika 22. Uteži na obodu (lasten arhiv).	26
Slika 23. Ventilator visi na žici (lasten arhiv).	28
Slika 24. Vrtenje ventilatorja z eliso (lasten arhiv).	28

Slika 25. Ventilator brez elise (lasten arhiv). 29

KAZALO TABEL

Tabela 1. Meritve vztrajnostnega momenta kolesa.	27
--	-----------