

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 32 (2004/2005)

Številka 6

Strani 11-14

Samo Lasič in Anton Potočnik:

TRETJI IN ČETRTI ČLEN VERIGE EKSPERIMENTOV

Ključne besede: fizika, svetovno leto fizike, verižni eksperiment, popularizacija fizike.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/32/1605-Lasic-Potocnik.pdf>

© 2005 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

© 2010 DMFA - založništvo

Vse pravice pridržane. Razmnoževanje ali reproduciranje celote ali posameznih delov brez poprejšnjega dovoljenja založnika ni dovoljeno.

2.

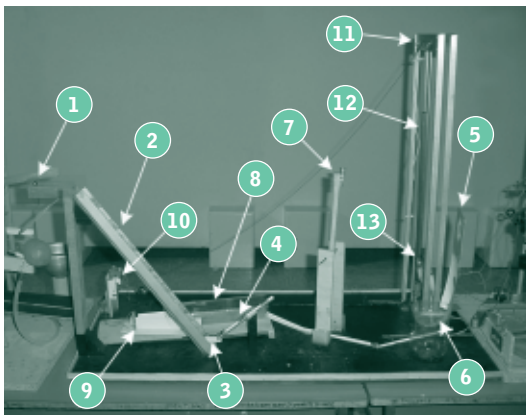
Tretji in četrti člen verige eksperimentov

Samo Lasič
in **Anton Potočnik**,
Oddelek za fiziko, FMF

Predstavlja bova tretji in četrti člen demo verižnega eksperimenta. Tretji člen, ki ga proži napihnjen balon na koncu drugega člena, so študentje poimenovali Lunapark. V njem jeklene kroglice delajo akrobacije in potope v olju, vmes pa slišimo zvonkljanje in piskanje. Zanimanje še posebej pritegne magnetni top in gibanje kroglic v različnih vrstah olja. Pri četrtem členu, z imenom Po klanecu navzgor, lahko sledimo dvojnemu stožcu, ki se proti pričakovanjem giblje navzgor in nato sproži navdse nenavadno električno stikalo, narejeno iz ventilatorja in aluminijastih folij. Člen se konča s plazom podirajočih se domin.

■ TRETJI ČLEN Lunapark

Avtorja eksperimenta: **Peter Mihor** in **Anton Potočnik**, Oddelek za fiziko, FMF.



Slika 1. Tretji člen Lunapark

Napihujoči se balonček iz drugega člena verige dvigne žebelj, ki je podstavljen pod kovinsko kroglico na odskočni mizi (1). Žebelj izrine kroglico iz jamice in Lunapark se prične. Kroglica se po vijugastem klanecu kobaca navzdol (2). Pri tem trka ob lesene ovire, zato se upočasni in enakomerno napreduje po klanecu navzdol. Njeno hitrost na vznožju klanca dodatno zmanjša plastični dušilec (3).

Počasna kroglica sproži magnetni ali t.i. Gaussov top (4) (podrobnejši opis na naslednji strani), ki ga sestavljajo trije magneti, vpeti na nagnjenem plastičnem vodilu, po katerem se kotalijo kovinske kroglice. Ob vsakem izmed magnetov sta na desni strani »prilepljeni« po dve kroglici. Prva se dotika magnetna, druga pa se dotika prve kroglice. Kroglica na skrajni desni se od kroglice, ki je bližje magnetu, »odlepi«, ko jo preko trka z magnetom sune kroglica, ki prileti z leve strani in ostane po trku »prilepljena« na levi strani magnetu. Ob vsakem ponovnem trku pridobijo kroglice nekaj hitrosti in zadnja kroglica odleti v presenetljivo dolgem paraboličnem letu proti tarči (5).

Kroglica se od tarče neprožno odbije in pade v lijak (6), kjer zakroži v spirali proti ustju, ki jo vodi v žleb, po katerem se zakotali do kladiva (7). Kladivo je narejeno iz vrtljive palice, ki je obtežena na enem koncu. Palica je zataknjena v navpični legi, tako da je obtežitev zgoraj. Ko kroglica zadane ob palico, se ustavi, palica pa zaniha, tako da zamahne kroglico, ki se z veliko hitrostjo zakotali v plastični tunel (8). Ker je tunel postavljen poševno glede na smer kroglice, kroglica zakroži po



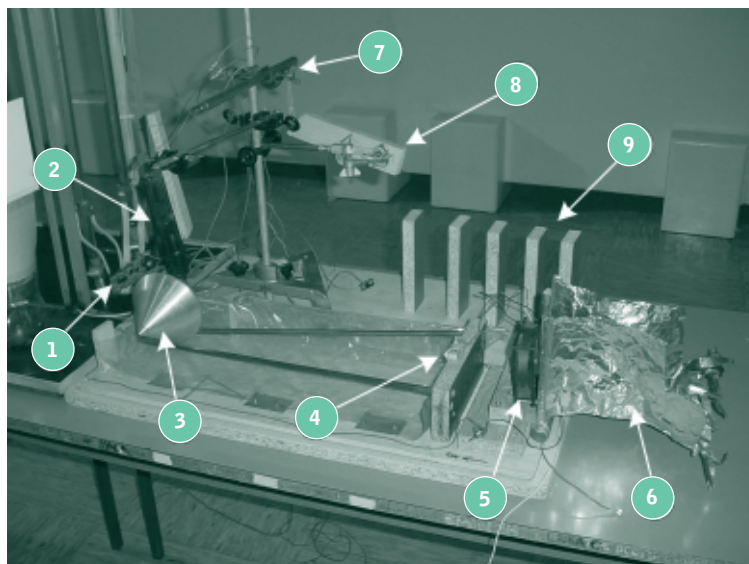
njenem obodu. Na drugem koncu tunela kroglico čakata električna kontakta in magnet, ki je postavljen za njima (9). Slednji privlači kroglico, da »sede« med kontakta in sklene tokokrog.

V tokokrogu je baterija in električni motorček (10), ki navije sukanec. Ko je sukanec dovolj napet, izvleče bakren zatič v obliki črke U (11), ki drži dve enaki jekleni kroglici na vrhu dveh cevi, od katerih je leva napolnjena z motornim, desna pa s parafinskim oljem (12). Preko prevodnega zatiča in kontaktov v luknjicah vodi tudi tokokrog, ki napaja motorček za navijanje sukanca. Zato se navijanje ustavi takoj, ko motorček izvleče zatič. Kroglici na vrhu cevi z oljem se začeta spuščati (podrobnejši opis v razdelku spodaj). Ker je motorno olje bolj viskozno od parafinskega, kroglica v motornem olju pada počasneje kot kroglica v parafinskem olju. Ob dnu cevi so optična vrata (13), ki zaznajo prehod kroglic. Narejena so s parom infrardeče diode (LED) in svetlobno občutljivim tranzistorjem ter z električnim vezjem, ki poskrbi za vklop in izklop zvočila (piezo zvočnik), ko ena ali druga kroglica prekine svetlobni žarek med diodo in tranzistorjem. Tako prva, »parafinska« kroglica vklopi zvočilo, druga, »motorna« kroglica pa nas nato odreši nadležnega piskanja s 1000 Hz. Medtem ko smo čakali na odrešitev, se je že sprožil četrti člen verige.

■ ČETRTI ČLEN Po klanecu navzgor

Avtorji eksperimenta: Matej Emin, Eva Ribežl in Boštjan Muri, Oddelek za fiziko, FMF.

Na začetku četrtega člena imamo ponovno oprava z električnim vezjem (1), ki sliši nadležnih 1000 Hz in odklene električno ključavnico. Osnova električnega vezja je kondenzatorski mikrofoni, ki zazna zvok in se mu posledično poveča napetost na priključkih. Ko ta napetost preseže določeni prag, električno vezje spremeni izhodno napetost iz nič na 12V. Tedaj se mehanski zatič (2) na ključavnici (ključ) premakne, tako da sprosti dvojni stožec (3), ki zataknen čaka na vznožju klanca. Stožec se začne navidezno kotaliti navzgor po vodilu iz dveh kovinskih palic (podrobnejši opis v razdelku spodaj). Ko prispe do vrha klanca, pritisne ob stikalo (4), ki sklene električni krog, v katerem sta baterija in ventilator (5). Ob ventilatorju sta dve



aluminijasti foliji (6). Ker je tlak v toku zraka nižji od tlaka v okolici, se foliji stakneta. S tem sklene tokokrog, v katerem sta baterija in tanka volframova žica (7). Ko steče tok, se žica segreje in zažari. Na žico je s tankim sukancem privezana viseča domina (8). Ko sukanec pregori, domina zaniha in sproži niz domin (9), ki s podiranjem zaključijo ta člen in sprožijo naslednji člen verige eksperimentov.

■ Podrobnejši opis nekaterih delov eksperimenta

■ Magnetni top

Delovanje magnetnega topa naivnega opazovalca navdahne z zamisljivo, da top energijo, ki jo podeli kroglici, ustvarja iz nič. Seveda pa obstaja razumljiva razlaga tega zanimivega pojava.

Ob prožnem trku kroglice z magnetom se praktično vsa kinetična energija kroglice na levi strani magnetu prenese na kroglico na desni strani. Kroglico, ki se z leve približuje magnetu, magnet privlači in jo pospeši, kroglico, ki odleti na desni, pa magnet zavira. Ker je desna kroglica bolj oddaljena od magnetu kot leva, jo magnet manj zavre, kot je levo pospešil. Tako ima kroglica na desni, ko zapusti privlačno polje magnetu večjo hitrost, kot jo je imela kroglica, ki je magnet zadela z leve.

Od kje kroglica pridobi kinetično energijo? Ker magnetna sila opravi delo, se kroglici na levi zmanjša »magnetna« potencialna energija. Po trku kroglica na desni pridobi nekaj »magnetne« potencialne energije, ker jo magnetna sila zavira.

Slika 2. Četrti člen Po klanecu navzgor

Slika 3. Potencialna energija kroglic

Ker pa se začne premikati na večji oddaljenosti od magnet, kot je bila kroglica z leve, ko je trčila v magnet, je magnetna sila manjša, zato opravi manjše delo in kroglica pridobi manj »magnetne« potencialne energije, kot jo je pred trkom izgubila kroglica na levi strani magnet. Ker se kroglice gibajo po klancu navzgor, pridobijo tudi nekaj gravitacijske potencialne energije, vendar je ta prispevek majhen v primerjavi z izgubljenjo »magnetno« potencialno energijo. Celotna sprememba potencialne energije pri trku je torej negativna (glej sliko 3). Kroglica pridobi kinetično energijo na račun izgubljene potencialne energije.

Od kje »strelivo« magnetnega topa? Namesto elastike, ki smo je vajeni pri frači, magnetni top uporabljaja »raztegnjene« magnete. Pred delovanjem so kroglice postavljene tako, da njihova potencialna energija ni najnižja možna. Delo, ki ga moramo opraviti proti magnetni sili, da kroglice postavimo v začetno lego, je večje od dela, ki bi ga opravili, če bi kroglice postavili tako, kot so postavljene po delovanju topa. Na koncu je na obeh straneh magnetov po ena kroglica. Kroglice so se »sprostile«, sistem je na koncu v osnovnem stanju. To, da se je med strelom prva kroglica zamenjala s sedmo, nas pri tem nič ne moti, saj so kroglice enake. Pojav spominja na stimulirano emisijo, ki spremlja delovanje laserjev. Pri tem svetlobni delec (foton) vzdraži atom, da se njegovo energijsko stanje zmanjša, pri tem pa atom izseva dva

svetlobna delca. Kroglica v magnetnem topu ob vsakem magnetu pridobi po en »kvant« energije, skupaj tri kvante.

■ Padanje kroglic v olju

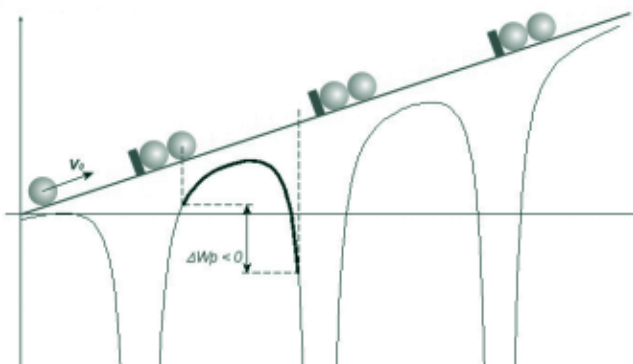
Na kroglico, ki pada v olju, deluje poleg teže in vzgona tudi viskozni upor. Ta je sorazmeren s hitrostjo kroglice. Velja $F_v = 6\pi r\eta \cdot v$, kjer je r polmer kroglice, η pa viskoznost, ki je za parafinsko olje enaka 0,2 Pa·s, za motorno pa 0,5 Pa·s. Za primerjavo, viskoznost vode je 0,001 Pa·s. Ker je razlika gostot olja in jekla velika, lahko vzgon zanemarimo. Na začetku je gibanje pospešeno, saj kroglici padata s težnim pospeškom (malo zmanjšanim zaradi vzgona). Z večanjem hitrosti se večja tudi viskozni upor. Pospešek se manjša vse, dokler sila upora ne izenači teže. Od tedaj naprej se kroglica giblje s stalno hitrostjo, ki je podana z ravnovesjem sil $F_v = F_g$. Sledi asimptotična hitrost $v_\infty = mg/6\pi r\eta$. Iz drugega Newtonovega zakona lahko izračunamo časovni potek hitrosti, saj velja $a = dv/dt = g - 6\pi r\eta v/m$. Z integriranjem dobimo $v(t) = v_\infty(1 - e^{-t/\tau})$, kjer je $\tau = m/6\pi r\eta$ čas, v katerem kroglica doseže 63% asimptotične hitrosti.

Pojav je podoben magnetnemu zaviranju, ki ga uporabljajo na primer v lunaparkih. Takšno zaviranje je idealno mehko, brez sunkov. Podoben časovni potek najdemo npr. tudi pri polnjenju kondenzatorja ali merjenju temperature s termometrom.

■ Navidezno kotaljenje po klancu navzgor

Iz izkušenj vemo, da se stvari same ne morejo kotaliti po klancu navzgor. Če pa že vidimo kaj takega, smo prepričani, da gre za trik. Seveda je tudi kotaljenje po klancu navzgor samo navidezno. Trik je v tem, da se med »vzpenjanjem« težišče dvojnega stožca rahlo spuščaja.

Ker se vodili z naraščajočim premikom s oddaljujeta (slika 4), se radij kroženja, na stiku med stožcem in vodilom, zmanjšuje po enačbi $r(s) = R(1 - s \cdot \tan\varphi/d)$, hkrati pa se dotikališče dvojnega stožca in vodil zvišuje kot $y = s \cdot \tan\varphi$. Višino težišča stožca dobimo, če seštejemo r in y , iz česar izpeljemo enačbo $h_t(s) = ks + R$, kjer je $k = \tan\varphi - R/d \tan\varphi$. Dvojni stožec se bo kotalil po vodilih navzgor, če se bo težišče medtem spuščalo. To se zgodi, ko je k negativen. Iz energijskega zakona





$mgh_t = 1/2mv^2 + 1/2J\omega^2$ lahko izpeljemo še odvisnost hitrosti od lege s

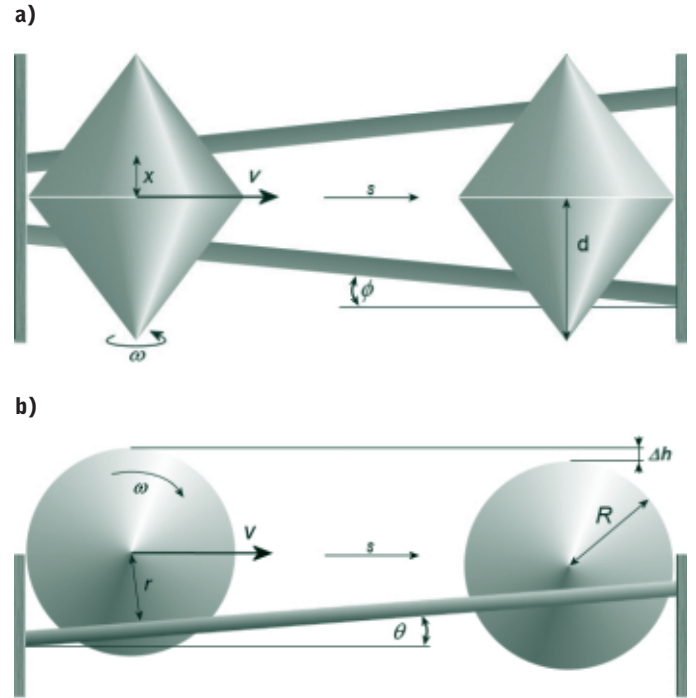
$$v(s) = \sqrt{\frac{2gks}{1 + \frac{3}{10}(1-s \cdot \tan \varphi/d)^{-2}}}$$

Tu je g težni pospešek, upoštevali pa smo tudi, da je vztrajnostni moment stožca $J_{d,s} = (3/10)mR^2$. Iz zgornje enačbe lahko izpeljemo še zanimiv potek časovne odvisnosti hitrosti (glej sliko 5.b). Večja opozoriti, da se v našem primeru stožec ne premakne dovolj daleč, da bi bil radij kroženja $r=0$.

■ Bernoullijevo stikalo

Pihanje ventilatorja povzroči, da se lista aluminijske folije stakneta in skleneta tokokrog. Čeprav bi pričakovali, da bo ventilator odpihnil foliji narazen, lahko na sorodne pojave naletimo tudi sicer v življenju. Močan veter odnaša strehe tako, da jih posesa kvišku, ponjavi dveh kamionov, ki peljeta drug mimo drugega, se napihneta, pihanje nad kozarcem z vodo povzroči pršenje itd. Poskusi sam: dva lista papirja postavi vštric in pihni mednju. Opazil boš, da jih tvoje pihanje povleče skupaj. Na tem principu delujejo tudi merilci hitrosti v letalih ali na primer vodne črpalke.

V tekočini si lahko zamislimo »tokovnice«, vzdolž katerih upoštevamo ohranitev energije. Pri tem pa zanemarimo viskoznost in stisljivost tekočine. To je grob približek, vendar je v večini okoliščin sprejemljiv. Dobimo Bernoullijevo enačbo, ki opisuje tok vzdolž tokovnice. Zapišemo jo kot $p + \rho gh + (1/2)\rho v^2 = konst.$ Enačba pravi, da se vsota tlaka, gostote potencialne energije in gostote kinetične energije vzdolž tokovnice ne spremeni.



Slika 4. Tloris (a) in naris (b) dvojnega stožca, ki se kotata po vodilu »navzgor«



nja. Razložimo enačbo še drugače. Delo, ki ga povzroča tlačna razlika na dveh delih tokovnice, je enako spremembi mehanske energije tekočine na teh dveh delih tokovnice. Če je tokovnica vodoravna, lahko člen s potencialno energijo izpustimo. Ker se med folijami zrak pretaka hitreje, kot v okolici, je tam tlak manjši in zato foliji okoliški zrak potisne skupaj.

Slika 5. Hitrost v odvisnosti od lege (a), hitrost v odvisnosti od časa (b) in lega v odvisnosti od časa (c). Na grafu (c) so poleg modela prikazani tudi izmerki.

