

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 31 (2003/2004)

Številka 1

Strani 16-19

Janez Strnad:

## ALI SLONI TEČEJO?

Ključne besede: fizika, mehanika, hoja, dinamična podobnost, Froudovo število, gibanje slonov.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/31/1538-Strnad.pdf>

© 2003 Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije

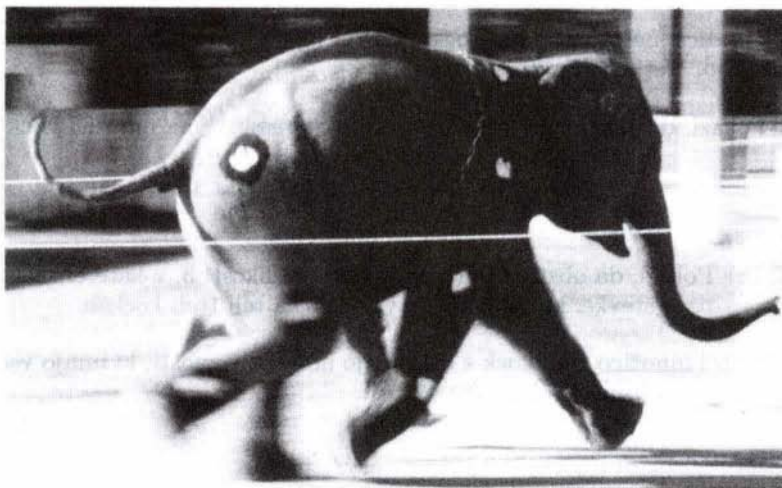
© 2010 DMFA - založništvo

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

## ALI SLONI TEČEJO?

Presek se je v lanski 1. številki dotaknil vprašanja, kako so se gibali dinozavri, ki so že zdavnaj izumrli. Zakaj se ne bi mimogrede pomudil še ob vprašanju, kako se gibljejo sloni, ki jih za razliko od dinozavrov ni težko opazovati? Da je vprašanje smiselno, bi lahko sklepali že po tem, da nanj ni mogoče enolično odgovoriti.

Revija Nature je poročala o poskusu, ki naj bi pomagal najti odgovor. Na Tajskem so opazovali 42 zdravih azijskih slonov, s katerimi so izvedli 188 merjenj. - Sloni so imeli na voljo trideset metrov dolg odsek poti, pred tem še deset dolg odsek za pospeševanje, na koncu pa prav tolikšen odsek za zaviranje. Ob slonu je tekel ali na njem sedel njegov gonil. Na strani slona, ki je bila obrnjena proti kameri, so z vodotopno barvo zaznamovali tri sklepe na sprednji in zadnji nogi: skočnega, kolenskega in vrhnjega, to je kolčnega in ramenskega (slika 1). S televizijsko kamero so posneli srednjih deset metrov gibanja in s posebnim programom ugotovili,



Slika 1. Slon in gonil tečeta ob vrvi, ki določa smer. Slonove sklepe so zaznamovali z barvo. Slike so povzete z dovoljenjem revije Nature in avtorjev iz prispevka J. R. Hutchinson, D. Famini, R. Lair, R. Kram, *Are fast-moving elephants really running?*, Nature **422** (2003) 493. Avtorji so po vrsti člani biomehanskega oddelka univerze v Stanfordsu, oddelka veterinarske medicine kalifornijske univerze v Davisu, oddelka za ohranitev slonov v Lampangu na Tajskem in oddelka za uporabno fiziologijo koloradske univerze v Bouldru.

kako se je s časom spreminjala lega šestih sklepov. Da so podatke za vse slone spravili na enotno osnovo, so si pomagali z razdaljo med kolenskim in kolčnim sklepom kot enoto. S časom gibanja, ki so ga izmerili s fotocelicama, so ugotovili povprečno hitrost na trideset metrov dolgem odseku in jo primerjali s podrobnimi podatki na srednjem, deset metrov dolgem odseku. Oboji podatki so se dobro ujemali, kar je pričalo, da so se sloni gibali približno enakomerno. Pri treh poskusih so se gibali s hitrostjo nad 6 m/s, pri dvajsetih s hitrostjo med 5 in 6 m/s in pri dvaintridesetih poskusih s hitrostjo med 4 in 5 m/s. Zanimive podatke so dobili, ko so podrobno razčlenili gibanje sklepov pri posameznih poskusih. Kot smo namignili, pa tudi po vseh teh merjenjih niso mogli nedvoumno odgovoriti na vprašanje, ali sloni tečejo, ko se gibljejo s hitrostjo, ki je zanje velika.

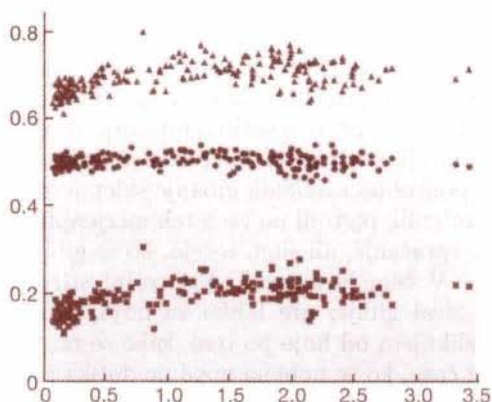
V čem je težava? Pri večini štirinožcev se ni težko odločiti, kako se žival giblje; gre lahko za hojo, drnec ali galop. Drnec in galop se razlikujeta od hoje po tem, kako se noge dotikajo tal. Pomemben je tudi del časa, ko se nobena noga ne dotika tal. Za tek je veljala značilnost, da se posamezna noga polovico časa ne dotika tal.

Pomembno je tudi Froudovo število, s katerim je mogoče na enotni osnovi primerjati gibanje vretenčarjev:  $Fr = v^2/(gl)$ , če je  $v$  povprečna hitrost,  $g$  težni pospešek in  $l$  višina kolčnega sklepa (*Kako hitro so se gibali dinosavri?*, Presek 27 (1999/2000), 142). Pri Froudovem številu nad  $\frac{1}{2}$  pri vretenčarjih hoja preide v drnec. Pri hoji in drncu se drugi par nog giblje enako kot pri hoji, le da je gibanje enega para zakasnjeno za gibanjem drugega. Pri Froudovem številu nad 2,5 drnec preide v galop, ko se para nog gibljeta različno. Hoja, drnec in galop se razlikujejo po prelivanju kinetične energije v potencialno in obratno. V splošnem se ni težko odločiti, ker se vrsta gibanja spremeni, če ga presojamo po tej ali po drugi značilnosti.

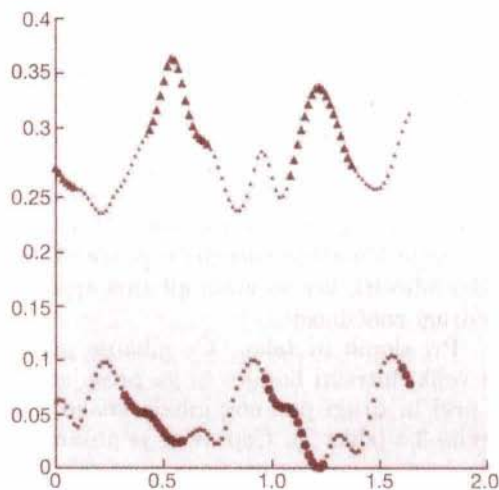
Pri slonih ni tako. Če gibanje presojamo po eni značilnosti, tudi pri veliki hitrosti hodijo, če ga presojamo po drugi, pa tečejo. Tako sta se prvi in drugi par nog gibala enako, čeprav so dosegli celo Froudovo število 3,4 (slika 2). Čeprav se je posamezna noga dotikala tal samo 0,37 dela časa, je ves čas vsaj ena noga ostala na tleh. Pri slonih se v prvem – pripravljalnem – delu koraka pri počasnem gibanju ramenski in kolčni sklep dvigneta in spustita sočasno. V tem delu koraka se težišče dvigne in spusti. Pri veliki hitrosti pa se ramenski sklep v prvem delu koraka dvigne in spusti, ko je sprednja noga na tleh, kar je značilno za hojo, kolčni sklep pa se spusti in nato dvigne, kar je značilno za drnec (slika 3). Mimogrede je vredno primerjati nogo slona, ki ima od vseh kopenskih živali največjo maso in na enoto mase in poti porabi za gibaje najmanj energije, z nogo precej lažjega konja (slika 4).



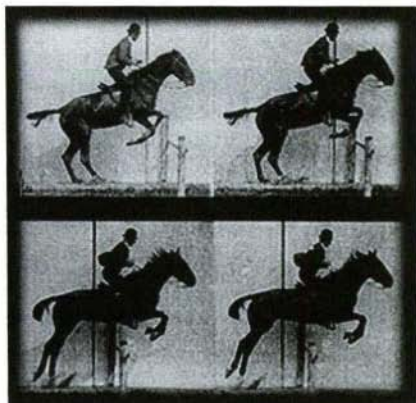
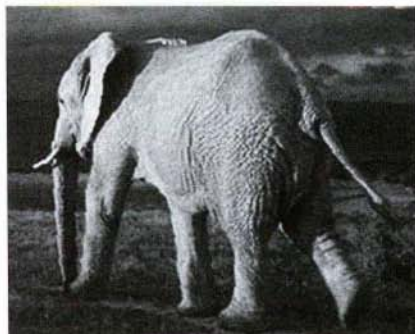
Slika 2. Sloni so enako predstavljali noge pri majhni in pri veliki hitrosti. Na vodoravno os je naneseno Froudovo število, na navpično pa čas kot del periode. Vodoravna črta ustreza levi zadnji nogi, sledi leva sprednja noga (kvadrati), desna zadnja noga (krogi) in desna sprednja noga (trikotniki). Vrstni red, ki je še posebej nakazan na vrhu, in relativni čas nista odvisna od hitrosti.



Slika 3. Navpični odmik kolčnega sklepa (krogi) in ramenskega sklepa (trikotniki) za slona pri Froudovem številu 2,8 in hitrosti 6,8 m/s. Veliki znaki ustrezajo prvemu delu koraka, majhni pa drugemu. Gibanje kolčnega sklepa navzdol je bilo značilno tudi za druge slone pri veliki hitrosti, pri nekaterih pa se je v prvem delu koraka kolčni sklep gibal dol in potem gor. Risba kaže približno dva in pol koraka v srednjih desetih metrih poti.



Po teh ugotovitvah je hitro gibanje slonov nekaj posebnega. Odpirata se dve možnosti: ali to vpeljati kot novo vrsto gibanja ali najti nove podatke, na primer, z merjenjem sil, s katerimi tla delujejo na noge slonov, da bi se po njih odločili, ali gre morda za drnec ali hojo. Začasno in ne popolnoma resno so hitro gibanje slonov poimenovali "Grouchov tek" po nenavadni hoji enega od bratov Marxov, ki so posneli nekaj zabavnih filmov.



Slika 4. Zadnja noga slona (levo) se po zgradbi znatno razlikuje od zadnje noge konja (desno). Sloni tudi pri hitrem gibanju stopajo na vse stopalo, konji pa se pri hitrem gibanju odpravljajo z "enim prstom in uporabljajo stopalo kot nekakšno vzmet". Konja pri skoku čez oviro je leta 1887 posnel Eadweard Muybridge.

Ali ni tudi v drugih delih fizike podobno? Dokler ni trdnih merskih podatkov, je mogoče o zadevah poljubno razpravljati in si izmišljati nova imena. Novi trdni merski podatki pa pokažejo, za kaj v bistvu gre.

Veliko podatkov s filmom gibajočih se slonov je mogoče dobiti na spletnih naslovih

[http://www.stanford.edu/~jrhutch/fast\\_elephants/wanalee/](http://www.stanford.edu/~jrhutch/fast_elephants/wanalee/)

[http://whyfiles.org/shorties/128elephant\\_run/](http://whyfiles.org/shorties/128elephant_run/)

Če prvemu naslovu dodamo še `history.html`, pridemo do daljše razprave o razvoju raziskovanja slonovega gibanja. Pismo v *Nature* je razkrilo, da je prve uspešne posnetke gibanja slonov naredil Etienne-Jules Marey s sodelavcem že leta 1887. Slone je zaznamoval na način, ki so ga uporabili tudi sedanji raziskovalci. Pomagal si je z gibajočo se zaklopko z režo, ker tedaj še niso imeli filmskih kamer. Prve fotografije slonov v gibanju pa je že nekaj let prej naredil Eadweard Muybridge s 24 fotografskimi kamerami.

