

# PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 23 (1995/1996)

Številka 2

Strani 90–94

Janez Strnad:

## ATWOODOV ŠKRIPEC

Ključne besede: fizika, mehanika, Atwoodovo padalo, Newtonov zakon.

Elektronska verzija: <http://www.presek.si/23/1259-Strnad.pdf>

© 1995 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.

## ATWOODOV ŠKRIPEC

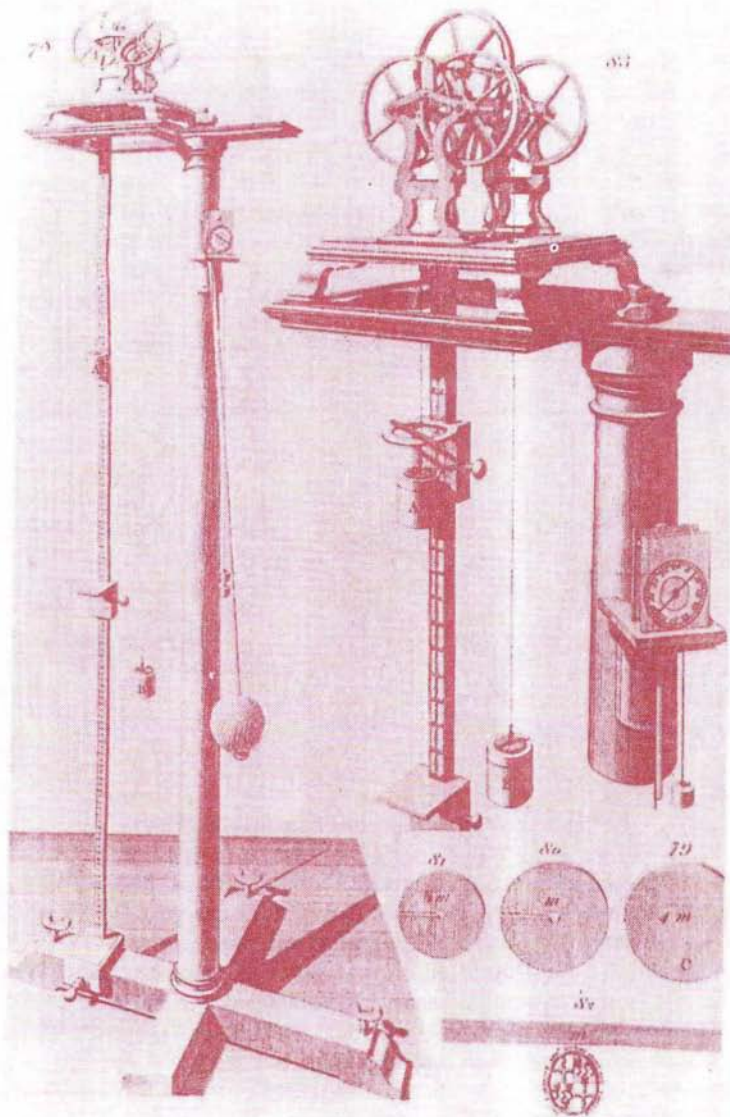
Newtonov zakon preskusimo v šoli tako, da z njim izračunamo pospešek, s katerim se giblje telo z znano maso, ko delujejo nanj druga telesa z znano vsoto sil, in ga primerjamo z izmerjenim. To lahko naredimo dovolj natančno le, če izdatno zmanjšamo trenje in upor. Teh sil namreč navadno vnaprej ne moremo dovolj natančno določiti.<sup>1</sup> Pri poskusih se je najbolje omejiti na vsoto sil, ki se ne spreminja s časom. Najpreprostejši primer je prosto padanje. Vendar telo hitro doseže tolikšne hitrosti, da začne motiti zračni upor. Temu se izognemo s kotaljenjem krogle ali valja po rahlo nagnjenem klancu. Po Galilejevem zgledu se prepričamo, da je gibanje enakomerno pospešeno, če ugotovimo, da je pot sorazmerna s kvadratom časa. Vendar je pri tem pospešek težišča odvisen od oblike telesa. Pri prostem padanju in pri gibanju po klancu pospešuje telo sila, ki je sorazmerna z maso, tako da lahko pri danem telesu vplivamo na pospešek samo, če spremenimo nagib klanca. Ne moremo na primer izmeriti pospeška telesa z dano maso, na katero deluje manjša in nato večja sila, ali pospeška telesa najprej z manjšo in nato z večjo maso, na katero deluje dana sila.

Tako nekako je razglabljal tudi George Atwood (1746 do 1807) v knjigi z naslovom *Razprava o premem gibanju in vrtenju teles z opisom originalnih poskusov v tej zvezi*, ki je izšla v Cambridgeu leta 1784. Atwood je študiral je na univerzi v Cambridgeu in je po končanem študiju na njej delal kot višji predavatelj do izida knjige. Thomas Young je ob Atwoodovi smrti, ne glede na to, da z njim ni bil v najboljših odnosih in je imel tudi pridržke glede njegovega raziskovalnega dela, zapisal, da je Atwood "prispeval k razvoju znanosti s tem, da je pomnožil načine za ilustracijo, ki jih eksperimentalna opravila zahtevajo od učitelja."

Atwoodova zamisel je bila preprosta. Na eno krajišče vrvice je pridrtil večjo, na drugo pa manjšo utež in vrvico obesil na škripec (slika 1). Posebej je poskrbel, da je bilo trenje v ležajih škripca čim manjše. Pred desetletji so na številnih srednjih šolah še imeli *Atwoodov škripec* ali *Atwoodovo padalo* in so ga ponekod tudi še uporabljali za demonstracijske poskuse.

---

<sup>1</sup> I. Newton je svoj zakon preskusil predvsem z gibanjem planetov, ki ga ne spremljata trenje in upor. Zadostovalo je, da je s svojim zakonom gibanja in gravitacijskim zakonom v približku prišel do Keplerjevih zakonov.



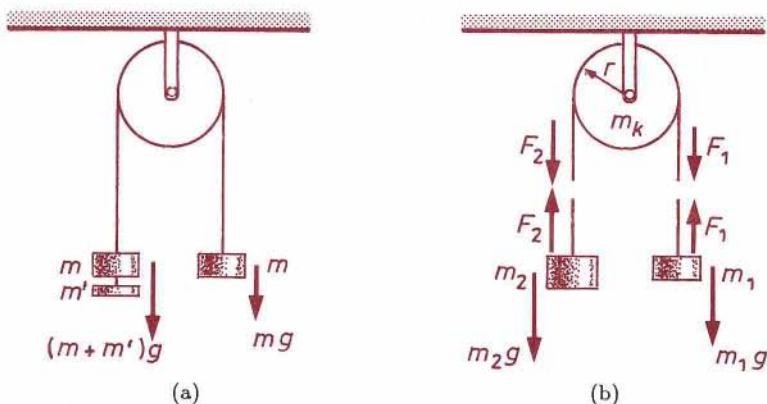
Slika 1. Atwoodov škripec po sliki iz njegove knjige. Štiri vrtljiva kolesa na vrhu so zmanjšala trenja škripca. Atwood je uporabil uteži s skupno maso 0,5 kg in več, škripec je imel efektivno maso 77 g. Čas je meril z metronomom, ki je bil pritrjen na napravo. Kot je bilo v tistih časih navada, si ni belil glave z natančnostjo pri merjenju.

Na hitro sestavimo podobno napravo z majhnim škripcem s koničastim ležajem in naredimo nekaj poskusov. Na krajišči vrvice obesimo enaki uteži z maso  $m$  in eni dodamo majhno utež z maso  $m'$ . S stoparico po petkrat izmerimo čas, v katerem se premakneta uteži za  $h = 1$  m. Pri  $m' = 5$  g in  $m = 10$  g dobimo čas  $(1,10 \pm 0,05)$  s, pri  $m = 50$  g čas  $(2,16 \pm 0,07)$  in pri  $m = 100$  g čas  $(2,84 \pm 0,08)$  s.

Pospremimo merjenje s kratkim računom. Po Newtonovem zakonu razlika tež  $m'g$  poganja telo s skupno maso  $2m + m'$  (slika 2a). Dolžina vrvice se ne spremeni in obe uteži se gibljeta z enakim pospeškom  $a$ :

$$a(2m + m') = gm'$$

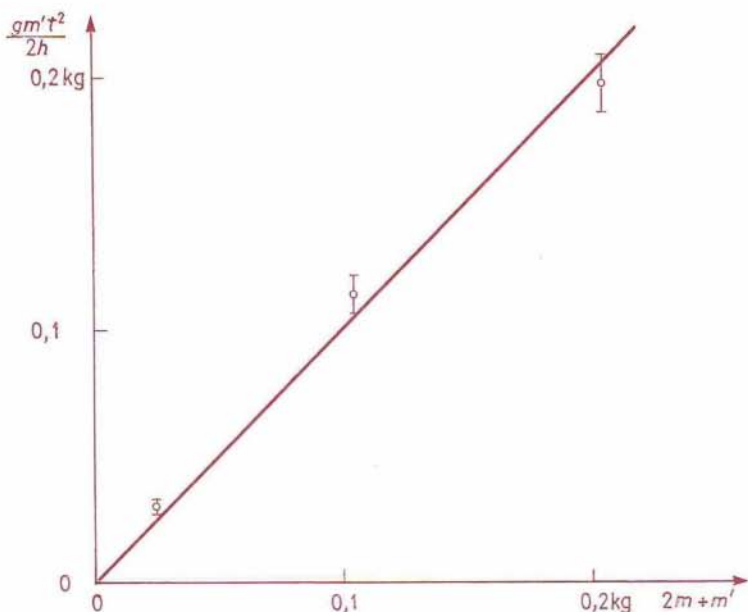
Pospešek določa višino  $h = \frac{1}{2}at^2$ , ki jo prepotujeta uteži v času  $t$ .



Slika 2. Uteži na škripcu (a) in napetost vrvice (b).

V diagramu nanesemo na vodoravno os skupno maso  $2m + m'$ , na navpično os pa količino  $m'gt^2/2h$  z izmerjenim časom  $t$  (slika 3). Merske točke so presenetljivo malo odmaknjene od premice, ki ustreza Newtonovemu zakonu. Zavedamo se namreč, da časa s stoparico ne izmerimo natančno. Naključni napaki se pridruži sistematična napaka zaradi zakasnjene odziva roke na vidni dražljaj.<sup>2</sup> Najbrž pa stoparico ustavimo s približno enako zakasnitvijo, kot jo poženemo. Trenje v koničastem ležaju je tako majhno, da ne moti. Vendar velja to le, dokler radialne obremenitve niso velike, dokler torej uporabljamo uteži z dovolj majhno maso. Z opisanim merjenjem tako dokaj natančno podpremo Newtonov zakon.

<sup>2</sup> To napako bi zmanjšali od okoli 0,1 s pod 0,04 s, če bi poskus posneli s televizijsko kamero in pri počasnem predvajanju zasledovali lego uteži na zaporednih slikah.



Slika 3. Graf kaže odvisnost izmerjene količine  $m'gt^2/2h$  od skupne mase  $2m + m'$ . Nakazane so učinkovite napake pri merjenju. Sistematična napaka, ki bi utegnila biti precej večja, ni upoštevana. Efektivna masa škripca meri samo 1,4 g, tako da je pri naši natančnosti ni treba upoštevati. V skupni masi na vodoravni osi bi lahko razen pri prvem merjenju zanemarili celo  $m'$  v primeri z  $2m$ , tako da bi se enačba glasila  $2ma = gm'$ . Z obratno vrednostjo strmine premice skozi tri merske točke bi lahko določili težni pospešek, če bi na navpično os nanesli količino  $m't^2/2h$ , kot je to storil Atwood. Dobili bi dokaj nenatančen rezultat  $(9,1 \pm 0,9) \text{ m/s}^2$ .

Kako vpliva na gibanje škripec? Na prvi strani je vrstica napeta s silo  $F_1$  in na drugi s silo  $F_2$ . Za škripec uporabimo izrek o vrtenju: vsota navorov, ki delujejo na škripec, je enaka produktu vztrajnostnega momenta kolesa  $km_k r^2$  in kotnega pospeška  $a/r$ :

$$rF_2 - rF_1 = km_k r^2 a/r = km_k r a.$$

Pri tem je  $r$  radij škripca in  $m_k$  njegova masa, koeficient  $k$  pa je enak 1 pri obroču in  $\frac{1}{2}$  pri polnem valju. Naš škripec je iz polivinila in ima maso samo 2,54 g in radij 2,20 cm. Newtonov zakon uporabimo za eno in za drugo stran  $m_1 a = F_1 - m_1 g$  in  $m_2 a = m_2 g - F_2$  (slika 2b). Tako

nazadnje dobimo enačbo

$$a(2m + m' + km_k) = gm', \quad m_1 = m, \quad m_2 = m + m',$$

ki se samo po efektivni masi škripca  $km_k$  na levi strani razlikuje od prejšnje enačbe.

Na škripec navijemo vrv in na njeno krajišče obesimo utež  $m'$ . Ugotovimo, da pade utež za  $h = 0,5$  m (več vrvic ne moremo naviti na škripec) v  $(0,36 \pm 0,05)$  s. Upoštevamo, da je  $m_2 = m'$  in  $m_1 = 0$ , pa dobimo za efektivno maso škripca  $km_k = m'(gt^2/2h - 1) = 1,4$  g. To je nekaj več kot polovica mase škripca – zaradi utorov v valju. Naš poskus je pokazal prednost lahkega škripca. Maso škripca bi se dalo še malo zmanjšati s tem, da bi izvrtali vanj nekaj lukenj, ne da bi prizadeli njegovo trdnost.

Janez Strnad