

PRESEK

List za mlade matematike, fizike, astronome in računalnikarje

ISSN 0351-6652

Letnik 31 (2003/2004)

Številka 1

Strani 28-31

Janez Strnad:

O TRENJU, I. del

Ključne besede: fizika, mehanika, trenje, tibologija, lepenje, koeficient trenja, koeficient lepenja, adhezija.

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

O TRENJU, I. del

Trenje se na prvi pogled zdi precej dolgočasen pojav. Toda brez njega si ni mogoče zamisliti življenja. Če ne bi bilo trenja, ne bi mogli uporabljati žebeljev, vijakov z maticami in lesnih vijakov ter zagozd. V strojih ne bi bilo prenosov z jermeni in dotikajočimi se kolesi. Ne bi mogli igrati na godala. Ne bi mogli zanetiti ognja ne z vrtenjem paličke iz trdega lesa ob kosu mehkega lesa ne s kresilom in ne z vžigalicami. Ne bi mogli hoditi, avtomobili in vlaki ne bi mogli speljati ali se zaustaviti, avtomobili ne bi mogli zaviti. (Del težav zaslutimo pri hoji in vožnji z avtomobilom ob poledici.) Ne bi delovale ne bobnaste ne kolutne zavore, avtomobila ne bi mogli pustiti zavrtega na klancu. Ne bi mogli uporabiti enojne lestve. Vozila bi pospeševali in zavirali ali zaustavljali z reakcijskimi ali raketnimi motorji, katapultji in velikimi kepami ilovice. (Na podobne razmere naletijo vesoljci, ko zapustijo vesoljsko ladjo.) Naprave s telesi, ki se dotikajo in gibljejo drugo glede na drugo, se ne bi obrabile.

Trenje je spremljalo ljudi od najstarejših časov. Izkoriščali so ga, na primer zato, da so zanetili ogenj. Na drugi strani so ga poskušali zmanjšati. Težka telesa so dali na nekakšne sani in trenje med sanmi in podlago zmanjšali z *mazanjem*. Uporabljali so vodo, mleko, rastlinsko olje ali živalsko mast (slika 1). Pod telo so položili okrogle gredi in s tem drsenje prevedli v kotaljenje. To je pripeljalo do izuma kolesa in voza s kolesi ter na drugi strani do preprostih *ležajev*. V asirski naselbini so našli ostanke šest tisoč let starega ležaja, ki je zmanjšal trenje vrat po tleh.



Slika 1. 4400 let stara risba iz groba egipčanskega veljaka Tija kaže moža, ki pred sani s kipom poliva neko kapljevino, da bi zmanjšal trenje.

O trenju je razmišljal že Aristotel, a ni spoznal, da je sila trenja usmerjena nasproti sili konja, ki vleče voz. Zato je mislil, da mora na voz nenehno delovati "zunanji vzrok", ali po naše, rezultanta sil, da se enakomerno giblje. Tako je trenje zameglilo pot do zakona gibanja. Isaac Newton je prišel do zakona preko gibanja planetov, pri katerem ni trenja. V laboratoriju so Newtonov zakon nekdanj preizkušali tako, da so opazovali gibanje dveh uteži v navpični smeri na vrvi, ki je tekla čez lahek škripec z vodoravno osjo (*Atwoodov škripec*, Presek **23** (1995/96) 90). Danes se

lahko izognemu trenju tako, da med telo in kovinsko podlago damo kos suhega ledu, ki ob stiku s kovino sublimira v plinast ogljikov dioksid. Za poskuse v razredu je pripravna zračna klop. Vozilo se giblje po votlem nosilcu s trikotnim presekom, iz katerega skozi drobne luknje piha zrak. V obeh primerih nastane tanka plast plina, "zračna blazina", po kateri se telo giblje brez trenja.

Trenje je raziskoval Leonardo da Vinci (1452 do 1519). (Glej *Leonardo da Vinci kot fizik*, Presek 27 (1999/2000) 216.) V beležnicah *Atlantskega kodeksa* najdemo prvo kvantitativno razpravo o trenju z ugotovitvami:

- Sila trenja je sorazmerna s hrapavostjo.
- Sila trenja se podvoji, če podvojimo breme.
- K trenju, ki ga povzroča isto breme, sodi enaka sila na začetku gibanja, čeprav ima morda stik različno dolžino ali širino.
- Pri trenju se na pripravnih ravnini z zglajeno površino vsako telo upira s četrtno svoje teže.
- Če nagib telesu omogoča, da deluje s četrtno svoje teže v smeri gibanja, teži telo samo od sebe h gibanju navzdol.

Pojma sile Leonardo v današnjem pomenu še ni poznal, pač pa je pisal o "uporu trenja". Delal je poskuse, ki jih je spremljal z risbami. Kvader je bilo treba vleči z enako silo, ne glede na to, ali je stal na stranski ploskvi z največjo, srednjo ali najmanjšo površino. V beležnicah *Madridskega kodeksa* je da Vinci obdelal trenje strojev in si zamislil valjčne in kroglične ležaje, ki so jih začeli v večji meri uporabljati šele okoli leta 1900. Njegova dognanja niso vplivala na razvoj, ker so vsebino beležnic spoznali šele v 20. stoletju.

Prva spoznanja o trenju je objavil Guillaume Amontons (1663 do 1705) leta 1699, ne da bi v vsem dosegel da Vincija. Naredil je vrsto poskusov s preprostimi napravami. Klado v obliki kvadra je na vodoravno podlago pritiskala navpična vijačna vzmet. Z vzmetno tehtnico je Amontons meril silo, s katero je premikal klado. Delal je poskuse s telesi iz železa, bakra, svinca, lesa in spreminjal površino drsne ploskve. Ugotovil je:

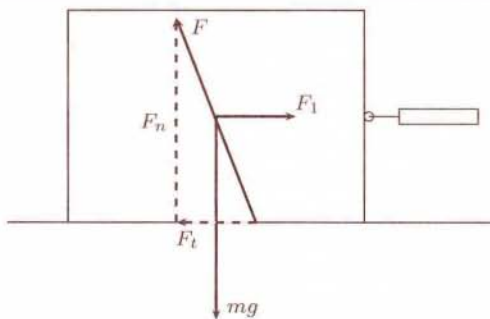
- Trenje je sorazmerno s silo, ki zgornjo ploskev stiska na spodnjo.
- Sila trenja je za uporabljene snovi približno enaka tretjini te sile.
- Sila trenja je neodvisna od površine drsne ploskve.

Amontons je še trdil, da sila trenja ni odvisna od snovi, če telo namažemo. Mislil je, da je sila trenja odvisna od hitrosti.

Razmišljajl je tudi o izvoru trenja in domneval, da sila trenja nastane zaradi hrapavosti. Podlaga in klada imata vdrti in izbočene dele, ki segajo drugi v druge. Upor se pojavi, ker moramo klado dvigovati, kot da bi se gibala po klancu navzgor, da se premaknejo izbočeni in vdrti deli drugi glede na druge. Amontons ni razločeval med lepenjem in trenjem.

Na klado v obliki kvadra, ki se enakomerno giblje po vodoravni podlagi, delujejo tri telesa: Zemlja s težo mg navpično navzdol, vzmetna tehtnica v vodoravni smeri s silo F_1 in podlaga s silo \vec{F} (slika 2). Silo podlage razstavimo na *pravokotno komponento* F_p in *vzdolžno komponento* F_t . Vzdlžna komponenta je *sila trenja*, ki je vedno nasprotna smeri gibanja. Na vodoravni podlagi je pravokotna komponenta navpična. Pri enakomernem gibanju so vse komponente sil v ravnovesju; težo uravnovesi pravokotna komponenta podlage, silo vzmetne tehtnice pa vodoravna komponenta sile podlage, to je sila trenja.

Slika 2. Klada v obliki kvadra se enakomerno giblje po vodoravni podlagi proti desni. Nanjo delujejo: teža navpično navzdol, vzmetna tehtnica proti desni in podlaga s silo, ki ima navpično in vodoravno komponento. Navpična komponenta sile podlage uravnovesi težo, vodoravna komponenta, to je sila trenja, pa silo vzmetne tehtnice.



Na klado polagamo uteži in ugotovimo, da je sila trenja sorazmerna s težo in s tem s pravokotno komponento sile podlage:

$$F_t = k_t F_p.$$

Sorazmernostni koeficient k_t je *koeficient trenja*.

Sila trenja ni odvisna od tega, po kateri mejni ploskvi drsi kvader, tako da tudi ni odvisna od površina S , v kateri se klada dotika podlage:

$$F_t \text{ ni odvisna od } S.$$

Sila trenja in koeficient trenja sta odvisna od snovi, iz katerih sta klada in podlaga, in od obdelave površin.

Poskusi pokažejo, da se trenje v mirovanju ali *statično trenje*, kratko *lepênje*, razlikuje od *trenja v gibanju* ali *dinamičnega trenja*, kratko *trenja*. Tako poznamo poleg sile trenja F_t še *silo lepenja* F_l . V mirovanju leži komponenta sile podlage na telo v vodoravni smeri na intervalu od 0 do *največje sile lepenja* F_{l0} :

$$0 \leq F_l \leq F_{l0}.$$

Največji sili lepenja priredimo *koeficient lepenja* k_l . Največja sila lepenja je podobno kot sila trenja sorazmerna s pravokotno silo in zanjo velja podobna zveza kot za silo trenja:

$$F_{l0} = k_l F_p.$$

Navadno je največja sila lepenja malo večja kot sila trenja in koeficient lepenja malo večji kot koeficient trenja pri dani kladi in podlagi:

$$k_t < k_l.$$