

Mjerenje trenja momentom sile

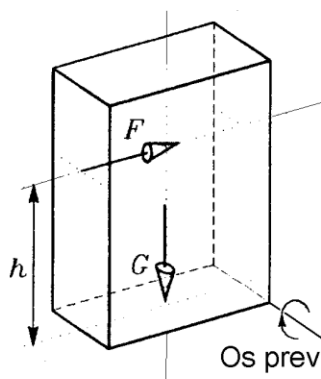
Ideja ovog članka potekla je iz jednog eksperimentalnog problema smišljenog za prošlo državno natjecanje mladih fizičara. Naime pred učenike trećih razreda srednjih škola postavljen je problem sličan slijedećem:

Kako možete odrediti koeficijent trenja μ između drvenog kvadra i podloge koju ne možete naginjati, a da pri tome upotrijebite samo mjerilo za duljinu (npr. ravnalo)? Rješenje daje metodu za mjerenje koeficijenta trenja zaista priručnim sredstvima. Evo kako:

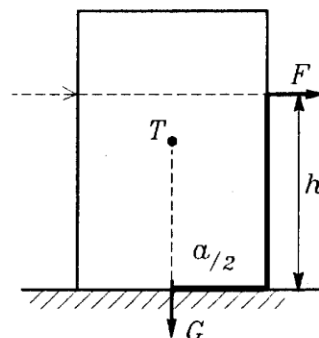
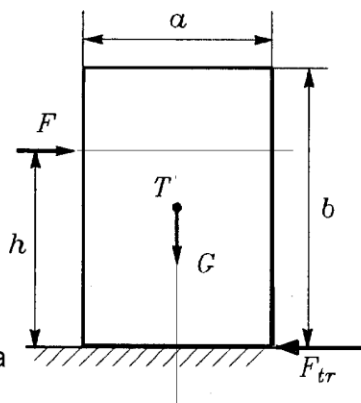
Uzmimo bilo kakvo tijelo oblika kvadra. To može biti opěka, drveni kvadar, kutija kekša ili bilo što slično. Oblik kvadra uzet je samo zbog jednostavnog određivanja težišta tijela.

Guramo li takvo tijelo horizontalnom silom F (sl. 1) primjenjujući silu na nekoj visini h od podloge i ako je ta sila veća od maksimalne sile trenja $F_{tr} = \mu \cdot G$, tijelo će se micati klizajući po podlozi. U času proklizavanja sila F jednaka je sili trenja F_{tr} , odnosno vrijedi ravnoteža sila:

$$F = F_{tr} = \mu \cdot G \quad (1)$$



Sl. 1.



Sl. 1a.

Međutim, ako silom F djelujemo dovoljno visoko tijelo će se početi prevrtati bez klizanja. To će se dogoditi onda kada je moment sile F oko osi koja prolazi bridom preko kojeg se tijelo prevrće veći od momenta sile teže oko iste osi:

$$F \cdot h > G \cdot \frac{a}{2} \quad (2)$$

a je širina kvadra. Ove momente dobili smo primjenom pravila da se djelovanje sile ne mijenja ako vektor sile pomikemo duž pravca njenog djelovanja (sl. 1a).

Potrebno je naći onu visinu h djelovanja sile F , pri kojoj se uočava upravo prijelaz iz klizanja u prevrtanje. Tada vrijedi ravnoteža momenata sila oko osi

prevrtanja pa se koeficijent trenja μ može naći iz sustava jednačbi

$$F = \mu \cdot G; \quad F \cdot h = G \cdot \frac{a}{2} \quad (3)$$

Rješavajući ovaj sustav dobivamo

$$\mu = \frac{a}{2h} \quad (4)$$

Treba dakle samo izmjeriti visinu h i udaljenost $\frac{a}{2}$ od brida do projekcije težišta na podlogu.

U našem praktikumu možemo postaviti ovakvu vježbu: Od pribora nam treba nekoliko kvadara različitih materijala i nekoliko podloga također različitih. To mogu biti podloge od drveta (šper-ploča), tkanine, ultrapasa, papira, lima, stakla itd.

Zatim gore opisanim postupkom određujemo koeficijente trenja između različitih materijala.

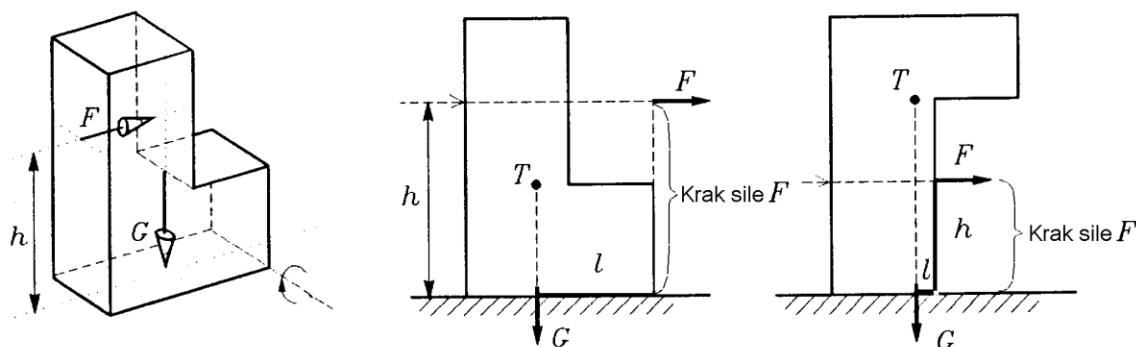
Međutim može se dogoditi da na glatkim podlogama naša metoda ne funkcionira. Zašto?

Zato jer je eksperimentalno određivanje koeficijenta trenja ovim priborom moguće samo ako visina tijela b zadovoljava slijedeći uvjet:

$$b > \frac{a}{2\mu} \quad (5)$$

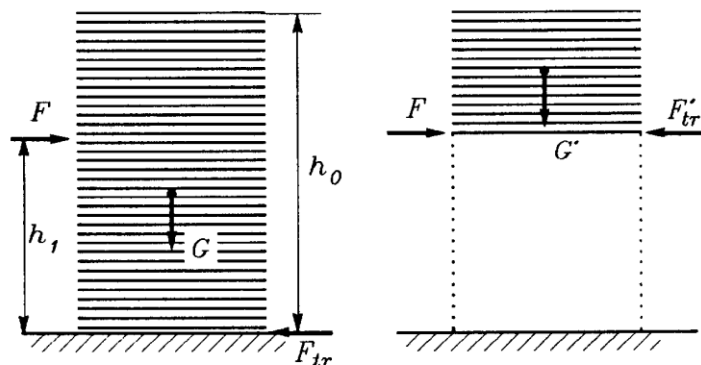
To znači da niska tijela na glatkoj podlozi ne možemo prevrnuti guranjem. Zato kod malog trenja treba tijelo postaviti tako da krak sile teže bude dovoljno kratak, kako bi uspjeli prevrnuti tijelo bez klizanja.

Drugi problem koji se postavlja pred nas u primjeni ove metode jest određivanje težišta tijela s kojim radimo. Jer projekcija težišta na podlogu određuju krak l sile teže u momentu $G \cdot l$ oko brida. To je važno ako želimo upotrijebiti tijelo koje nije homogeno npr. djelomično napunjena kutija, ili ako tijelo nema oblik kvadra. Takvo je npr. upotrijebljeno na natjecanju (sl. 2).



Sl. 2.

Slično razmatranje primijenit ćemo u još jednom zadatku: Uzmimo veći broj ploča ili listova nekog materijala. Za tu svrhu mogu nam poslužiti domino kocke, žetoni, pa čak i keksi koje naslažemo jedan na drugi da tvore ravan stupac (sl. 3).



Sl. 3.

Treba odrediti koeficijent trenja μ_1 između pojedina dva sloja u stupcu, koristeći samo mjerilo za duljinu. Pretpostavimo da znamo koeficijent trenja μ_0 između stupca i podloge (stola).

Ako pokušamo guranjem pomaknuti cijeli stupac po stolu to ćemo moći samo ako horizontalnu silu primijenimo dovoljno nisko u odnosu na visinu stupca. Inače ćemo dio stupca iznad mjesta gdje guramo pomicati, a dio stupca ispod će mirovati na podlozi. Ploču na koju djeluje sila F i sve ploče iznad nje možemo smatrati jednim tijelom težine G'

$$G' = G \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0} \quad (6)$$

Treba naći najveću visinu h_1 na kojoj možemo gurati stupac tako da se on čitav pomakne, a da ne dođe do međusobnog klizanja slojeva u njemu. Tada vrijedi jednakost sila:

$$F_{tr} = F'_{tr}, \quad \mu_0 \cdot G = \mu_1 \cdot G',$$

$$\mu_0 \cdot G = \mu_1 \cdot G \cdot \frac{h_0 - h_1}{h_0}$$

odnosno

$$\mu_1 = \mu_0 \cdot \frac{h_0}{h_0 - h_1} \quad (7)$$

I ovdje postoji ograničenje za primjenu metode. Najjednostavnije ćemo to vidjeti ako iz (7) izlučimo h_1 :

$$h_1 = h_0 \cdot \left(1 - \frac{\mu_0}{\mu_1}\right) \quad (8)$$

Očito je da koeficijent trenja s podlogom mora biti manji od koeficijenta trenja među slojevima.