

Úloha VI.E . . . kluzká

12 bodů; průměr 10,39; řešilo 18 studentů

Najděte dvě rovné plochy ze stejného materiálu a změřte, jaký je mezi nimi koeficient tření. Následně zjistěte, jak se tento koeficient změní, když mezi plochy dáte nějakou sypkou nebo kapalnou látku. Můžete použít vše od vody a oleje, přes med a roztavenou čokoládu až po mouku a písek. Měřte pro alespoň 4 různé látky. Hodně pozornosti věnujte diskusi výsledků a především toho, které vlastnosti použitých látek měly na výsledek největší vliv.

Mikuláš se chce klouzat.

Teorie

Jako smykové tření označujeme vznik tečné síly na rozhraní dvou těles, působící proti směru jejich vzájemného pohybu. Rozlišujeme tření statické, které brání tělesům v uvedení do pohybu, a tření kinematické, působící na již se pohybující tělesa. Je podstatné tyto dva případy rozlišovat, protože velikost kinematické třecí síly je obecně jiná než u tření statického, obvykle je cca o 20-25% nižší. Ve většině případů lze předpokládat platnost Amontonsových zákonů, které říkají, že velikost třecí síly je přímo úměrná normálové složce síly působící na těleso a nezávisí na velikosti styčné plochy obou těles. Tedy platí

$$F_t = \mu F_n,$$

kde F_t značí velikost třecí síly, F_n velikost normálové síly a koeficient úměrnosti μ se nazývá součinitel smykového tření. Pokud uvažujeme statické tření, označuje se koeficient μ_0 a nazývá se součinitel klidového tření.¹ Tyto koeficienty závisí obecně na obou styčných materiálech i na povřích obou materiálů. Máme-li těleso na nakloněné rovině, existuje nějaký mezní úhel naklonění α , při kterém jej již třecí síla neudrží a těleso se začne pohybovat. Jednoduchou geometrickou úvahou lze dojít ke vztahu

$$F_g \mu_0 \cos(\alpha) = F_g \sin(\alpha),$$

kde F_g je celková tíhová síla působící na těleso. Z něj pak můžeme vyjádřit μ_0

$$\mu_0 = \operatorname{tg}(\alpha).$$

Výhoda měření mezního úhlu je, že přímo nezávisí na normálové síle, což nám výrazně zjednoduší postup.

Postup měření

Jako zkoumaný vzorek jsme zvolili dvě stejné cihly. Jednu jsme pevně připevnili na kus prkna, druhou jsme pak volně položili na ní. Postupně jsme pak prkno nakláněli, dokud se cihla nedala do pohybu. Pak jsme odečetli výšku konce prkna nad vodorovnou podložkou, která byla tvořena druhým prknem.² Ze znalosti této výšky a délky prkna jsme již dokázali určit sklon prkna, ze kterého jsme pak určili i součinitel μ_0 . Pro každý povrch jsme měření opakovali minimálně pětkrát a z nich jsme určili průměrnou hodnotu i směrodatnou odchylku. Pro samotné tření cihly o cihlu jsme zkusili přidat na cihlu dvě různé zátěže a zkoumat, jestli se mění hodnota μ_0 , a tím ověřit platnost Amontonsových zákonů. Pak jsme ještě pro písek zkusili přidat zátěž, ale pro další úpravy jsme již zátěž nepřidávali. Další použité úpravy byly posypání solí, moukou, namočení, namydlení a naolejování.

¹V české literatuře se však obvykle setkává se značením f resp. f_0 .

²To že je vodorovně, jsme ověřili vodováhou.

Tab. 1: Výsledné koeficienty tření, plusová znamínka značí zátěž navíc danou úpravu.

Úprava	μ_0
Bez úpravy	0.56 ± 0.03
+	0.56 ± 0.04
++	0.56 ± 0.02
Písek	0.43 ± 0.05
+	0.45 ± 0.11
Sůl	0.43 ± 0.05
Mouka	0.43 ± 0.04
Voda	0.70 ± 0.10
Mýdlo	0.65 ± 0.06
Olej	0.45 ± 0.04

Výsledky a diskuze

Získané výsledky jsou v tabulce 1. Vidíme, že výsledky jsou zatíženy velkou chybou, protože dosti záleží na tom, jak si na sebe obě cihly „sednou“. Na druhou stranu, výsledné koeficienty pro různá zatížení se příliš neliší, dokonce jejich rozdíly jsou výrazně menší, než statistická chyba. To ale může být způsobeno neúmyslným zkreslením výsledků osobou experimentátora. Dále vidíme, že pro všechny přidané sypké materiály je výsledný koeficient velmi podobný. To bude dáno tím, že tyto materiály mají tendenci působit jako „ložisko“ a převádět smykové tření na valivý odpor. Tím způsobují přesně opačný efekt na výsledný koeficient, než bychom intuitivně očekávali. Naopak po namočení se koeficient výrazně zvýšil, což opět neodpovídá našemu očekávání. Zde mohlo dojít k odmytí cihelného prachu, čímž došlo ke zvýšení výsledného koeficientu. Navíc cihla je relativně porézní a tedy savý materiál, takže se na ní tolik nevytváří vodní film, který je zodpovědný za snížení třecí síly u jiných materiálů. Namydlení též nesnížilo třecí sílu. To je překvapivé, ale pravděpodobně došlo k tomu, že jsme použili tvrdou vodu k namočení mýdla, navíc jsme si příliš nedávali pozor na to, abychom nekontaminovali vodu solí z předchozího měření. To by vedlo k vysolení³ mýdla, které by pak ztrácelo efekt, a celkový efekt by se blížil efektu vody samotné. Nakonec ale kuchyňský olej koeficient podle očekávání snížil. Jeden z pravděpodobných důvodů, proč se jeho efekt liší od vody je, že narozdíl od vody je nepolární, čímž se výrazně méně váže na materiál, ze kterého se cihla skládá.⁴ Navíc, ač jsme se snažili aby cihla byla před naolejováním suchá, nějaká vlhkost v ní zůstat mohla, což by též ovlivnilo sílu vazby na olej.

Při samotném měření se cihla postupně obrušovala, takže mohlo dojít ke změně jejího povrchu, což mohlo mít i vliv na hodnotu μ_0 . Zároveň byl problém občas přes veškerou snahu z cihly odstranit zbytek nějaké látky, což též mohlo mít nepříznivý vliv na další měření.⁵

³Vysolení mýdla je proces, kdy přidáním iontů do vody dosáhneme roztrhání micel, čímž se rozpuštěné mýdlo vysráží. Tohoto se využívá například při jeho výrobě.

⁴Vypálený jíl, tedy kombinace oxidu křemičitého a hlinitého.

⁵Proto jsme si taky měření naolejované cihly nechali až nakonec.

Závěr

Změřili jsme součinitel klidového tření μ_0 mezi dvěma cihlami a jeho změny při několika různých úpravách povrchu. Mnohé provedené úpravy měly opačný výsledek na změny μ_0 , než bychom očekávali.

Mikuláš Matoušek
mikulas@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.