

## 1.2.10 Tření a valivý odpor I

### Předpoklady: 1209

**Př. 1:** Do krabičky od sirek ležící na vodorovném stole strčíme malou silou. Krabička zůstane stát. Vysvětlí.

Mezi stolem a krabičkou působí tření, které se snaží udržet krabičku na místě, když se ji snažíme posunout. Pokud chceme krabičkou pohnout, musíme působit větší silou než je maximální hodnota tření.

**Př. 2:** Do krabičky od sirek ležící na vodorovném stole strčíme větší silou. Krabička se rozjede po stole a po chvíli zastaví. Stejným způsobem proběhne pokus nezávisle na směru, do kterého krabičku tlačíme. Vysvětlí.

Strčíme do krabičky větší silou  $\Rightarrow$  překonáme tření a krabička se začne pohybovat. Tření nepřestává působit a snaží se krabičku zastavit (což se mu časem podaří).

$\Rightarrow$  Proti pohybu (a proti síle snažící se uvést předmět do pohybu) působí **třecí síla**.

Jak určíme její velikost?

Zkusíme popotáhnout siloměrem krabičku po stole.

Velikost třecí síly v průběhu pohybu mírně kolísá  $\Rightarrow$  nemůžeme určit přesnou hodnotu tření (je každou chvíli jiná), maximálně se můžeme snažit o určení přibližné střední hodnoty.

**Př. 3:** Navrhni veličiny, které ovlivňují velikost třecí síly mezi krabičkou a stolem. U každé veličiny navrhni pokus, kterým je možné takovou závislost ověřit.

- Velikost povrchu, kterým se krabička dotýká stolu.  $\Rightarrow$  Stejně těžkou krabičku, budeme stejnou rychlostí tahat po stejném povrchu tak, aby se dotýkala stolu různě velkými plochami (stačí, když budou mít její stěny různé plochy).
- Hmotnost krabičky.  $\Rightarrow$  Stejnou rychlostí budeme tahat po stejném povrchu po stejné ploše různě těžkou krabičku (stačí, do prázdné krabičky dávat různá závaží).
- Druh povrchu.  $\Rightarrow$  Stejně těžkou krabičku, budeme stejnou rychlostí po stejné ploše tahat po různých površích.
- Rychlost pohybu.  $\Rightarrow$  Stejně těžkou krabičku budeme tahat stejnou plochou po stejném povrchu různými rychlostmi.

$\Rightarrow$  Veličinu, kterou zkoumáme, měníme. Vše ostatní se měnit nesmí

**Pokud zkoumáme závislost veličiny na jiné veličině, opakujeme pokus tak, aby všechny podmínky zůstávaly stejné a měnila se pouze zkoumaná veličina.**

**Dodatek:** Předchozí postup je základem zkoumání nejen ve fyzice. Největším problémem při uplatňování tohoto postupu je dodržení neměnnosti ostatních podmínek. Zejména v biologických disciplínách nebo v lékařském výzkumu je velmi těžké zajistit

třeba dvě skupiny lidí, které se liší například pouze v tom, zda kouří. Například při zkoumání účinnosti léku dostávají všichni pacienti stejné tabletky, část z nich s obsahem testované látky, část bez něj (placebo), aby všichni pacienti měli stejný pocit, že jsou léčeni a rozdíl mezi nimi byl pouze v tom, zda testovanou látku dostávají nebo ne.

Pokud měření provedeme, zjistíme následující výsledky (všechny přibližné, protože velikost třecí síly se neustále mění):

- Třecí síla nezávisí na velikosti povrchu, kterým se krabíčka dotýká podložky.
- Třecí síla nezávisí na rychlosti, kterou se krabíčka pohybuje.
- Třecí síla závisí na povrchu, po kterém se krabíčka pohybuje (s hrubostí povrchu se síla zvětšovala).
- Třecí síla závisí na hmotnosti krabíčky (s hmotností se síla zvětšovala).

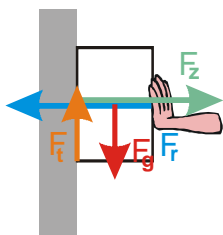
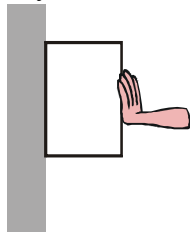
Z výsledků předchozího pokusu se zdá, že tření roste s hmotností předmětu a závisí na typu povrchů, které se o sebe třou.

**Př. 4:** Najdi situace, při kterých se tření mezi krabíčkou a stolem může změnit, aniž by se změnila její hmotnost nebo typ povrchu.

Je to jednoduché. Stačí, když na krabíčku seshora zatlačíme prstem, a třecí síla se zvětší beze změny hmotnosti nebo typu povrchu.

**Pedagogická poznámka:** Předchozí nápad studenti často vnímají jako podvod.

**Př. 5:** Na obrázku je nakreslen kvádřík, který je rukou přitlačován ke zdi. Nakresli všechny síly, které na něj působí. Proč nespadne?



Kvadr nespadne, protože součet působících sil je nulový. Gravitační síla se odečte s třecí silou mezi kvádrem a zdí. Aby tato třecí síla byla dostatečně velká, musíme dostatečnou silou tlačít do kvádrů rukou (když tlačíme málo kvádřík spadne).

⇒ Z předchozích dvou příkladů vyplývá, že třecí síla nezávisí přímo na hmotnosti předmětu, ale na kolmé tlakové síle, kterou předmět působí na podložku.

Tento závěr můžeme použít na všechny předchozí příklady:

- Krabíčka na stole: velikost kolmé tlakové síly krabíčky je stejná jako velikost gravitační síly na krabíčku.
- Krabíčka na stole, zatlačovaná rukou: velikost kolmé tlakové síly krabíčky se rovná součtu velikosti gravitační síly na krabíčku a tlakové síly ruky.

- Krabíčka tlačena rukou ke zdi: velikost kolmé tlakové síly krabíčky se rovná velikosti tlakové síly ruky.

**Pedagogická poznámka:** Nahrazení hmotnosti kolmou tlakovou silou nepřijímají všichni studenti snadno. Někteří preferují jednodušší vysvětlení, před vysvětlením zahrnujícím všechny případy. Upozorněte je, že fyzika musí postupovat obráceně. Navíc se časem (při vysvětlování mechanismu tření) ukáže, že výpočet pomocí tlakové síly dává větší smysl.

Shrneme naše poznatky o třecí síle:

Třecí síla mezi předmětem a podložkou působí vždy proti směru pohybu předmětu. Její velikost je určena vztahem  $F_t = N \cdot f$ , kde  $N$  je kolmá tlaková síla, kterou předmět působí na podložku a  $f$  je koeficient (součinitel) smykového tření. Koeficient tření  $f$  je bezrozměrná veličina, která charakterizuje kvalitu a vzájemné působení obou povrchů.

**Př. 6:** Urči, jakou největší hmotnost může mít předmět rovnoměrně tažený po vodorovné lavici s  $f = 0,8$  na niti, která se trhá silou 150 N.

Při rovnoměrném pohybu musí síla provázku vyrovnat třecí sílu  $\Rightarrow F_t = 150 \text{ N}$ .

Pohyb po vodorovné rovině  $\Rightarrow N = F_g = mg$ .

Dosadíme:  $F_t = Nf$

$$N = \frac{F_t}{f}$$

$$mg = \frac{F_t}{f}$$

$$m = \frac{F_t}{fg} = \frac{150}{0,8 \cdot 10} \text{ kg} = 18,8 \text{ kg}$$

Předmět může mít hmotnost 18,8 kg.

**Pedagogická poznámka:** Překvapivě velké problémy mají studenti s předchozím příkladem. Mnozí bez zamyšlení předpokládají, že udaná síla 150 N hraje roli kolmé tlakové síly.

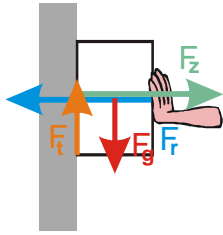
**Př. 7:** Navrhni způsob, jak určit koeficient tření mezi dvěma povrchy, a ověř jej v praxi.

Ze vzorce pro třecí sílu vyjádříme  $f$ :  $F_t = Nf \Rightarrow f = \frac{F_t}{N}$ .

$\Rightarrow$  Stačí změřit třecí sílu a kolmou tlakovou sílu, která ji způsobuje. Koeficient určíme jako jejich podíl.

**Př. 8:** Jakou silou musíme přitlačovat ke zdi knížku o hmotnosti 0,8 kg, aby nespadla? Koeficient tření mezi knížkou a zdí je 0,5?

$$m = 0,8 \text{ kg}, f = 0,5, F_r = ?$$



Z obrázku, který jsme kreslili už dříve je vidět, že třecí síla:

- musí být stejně velká jako gravitační síla působící na knížku,
- závisí na kolmé tlakové síle, kterou tlačí na knížku ruka.

$$F_t = F_g$$

$$Nf = mg$$

$$F_r f = mg$$

$$F_r = \frac{mg}{f} = \frac{0,8 \cdot 10}{0,5} \text{ N} = 16 \text{ N}$$

Na knížku musíme tlačit minimálně silou 16 N.

Dosadíme  $N = F_r$  (kolmou tlakovou sílu vyvolává síla ruky).

Tření vzniká najednou dvěma mechanismy:

- Oba povrchy jsou nerovné. Při vzájemném pohybu se jejich nerovnosti navzájem odírají jedna o druhou, obrušují se a deformují. Na všechny tyto děje je nutná síla, kterou v makroskopickém měřítku vnímáme jako tření. Tento mechanismus dobře vysvětluje, proč je mezi drsnějšími povrchy větší tření, i využití brusného papíru, kterým můžeme vyhladit povrch opracovávaného předmětu.
- Druhou část síly způsobuje vzájemné přitahování povrchových částic obou předmětů. Kvůli tomuto přitahování se třecí síla vyskytuje i mezi libovolně hladkými povrchy. Právě přilnavost pneumatik k povrchu vozovky, má na svědomí většinu tření, které drží automobily na silnici. Přilnavost pneumatik k vozovce se snižuje při nižších teplotách a proto se na zimní období vyrábějí speciální zimní pneumatiky, které mají při nižších teplotách přilnavost větší. Účelem dezénu pneumatiky je v případě deště odvádět vodu tak, aby zbytek povrchu pneumatiky doléhal přímo na vozovku a mohla se uplatnit přilnavost gumy pneumatiky k asfaltu, ze kterého je vyrobena silnice.

U různých povrchů se oba mechanismy uplatňují do různé míry.

Z obou mechanismů vyplývá, třecí síla nemůže být celou dobu stejná, neustále se mění kolem nějaké hodnoty střední hodnoty. Právě tato střední hodnota je určena vzorcem. Vzorec je však pouze přibližný, protože nám celkově zachycuje působení drobností obou povrchů, které nejsme schopni výpočtem ani měřením zachytit.

Vzorec pro tření je prvním příkladem „z podstaty nepřesných vzorců“. Vzorec v sobě obsahuje značné zjednodušení skutečnosti a z podstaty věci vyplývá, že poskytuje pouze přibližné (ale dost přesné na to, aby se vyplatilo ho používat) výsledky. Proto také vzorec neobsahuje žádnou závislost na rychlosti, která sice existuje, ale její vliv je při malých rychlostech velmi malý.

**Př. 9:** Zkus kvalitativně vysvětlit, proč se ve vzorci pro třecí sílu nevyskytuje velikost ploch, které se o sebe třou.

Z obou mechanismů vzniku tření vyplývá, že tření bude větší pokud:

- jsou obě plochy více přitlačeny k sobě,
- jsou obě plochy větší (tře se více nerovností, více části se vzájemně přitahuje).

Pokud mezi dvěma plochami působí určitá kolmá tlaková síla, znamená:

- zvětšení plochy větší třecí sílu kvůli větší ploše, ale zároveň menší třecí sílu kvůli menšímu přitlačování (tlaková síla se rozprostře na větší plochu)  $\Rightarrow$  třecí síla nemusí na velikosti plochy záviset.
- zmenšení plochy menší třecí sílu kvůli menší ploše, ale zároveň větší třecí sílu kvůli většímu přitlačování (tlaková síla se rozprostře na menší plochu)  $\Rightarrow$  třecí síla nemusí na velikosti plochy záviset.

**Shrnutí:** Třecí síla je přibližně přímo úměrná kolmé tlakové síle, která přitlačuje k sobě oba povrchy.