

1.2.11 Tření a valivý odpor I

Předpoklady: 1210

Pedagogická poznámka: Měření závislosti provádíme stejným způsobem už v primě, proto se tato část hodiny shoduje s odpovídající hodinou v učebnici pro 6. ročník.

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**.

Př. 3: Navrhni, jak změřit velikost třecí síly, která působí na kvádrík při pohybu po stole.

Tření se projevuje při pohybu \Rightarrow potáhneme krabičku siloměrem rovnoměrně \Rightarrow výsledná síla na krabičku musí být nulová \Rightarrow velikost třecí síly bude stejná jako velikost síly, kterou táhne krabičku siloměr (a kterou siloměr měří).

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

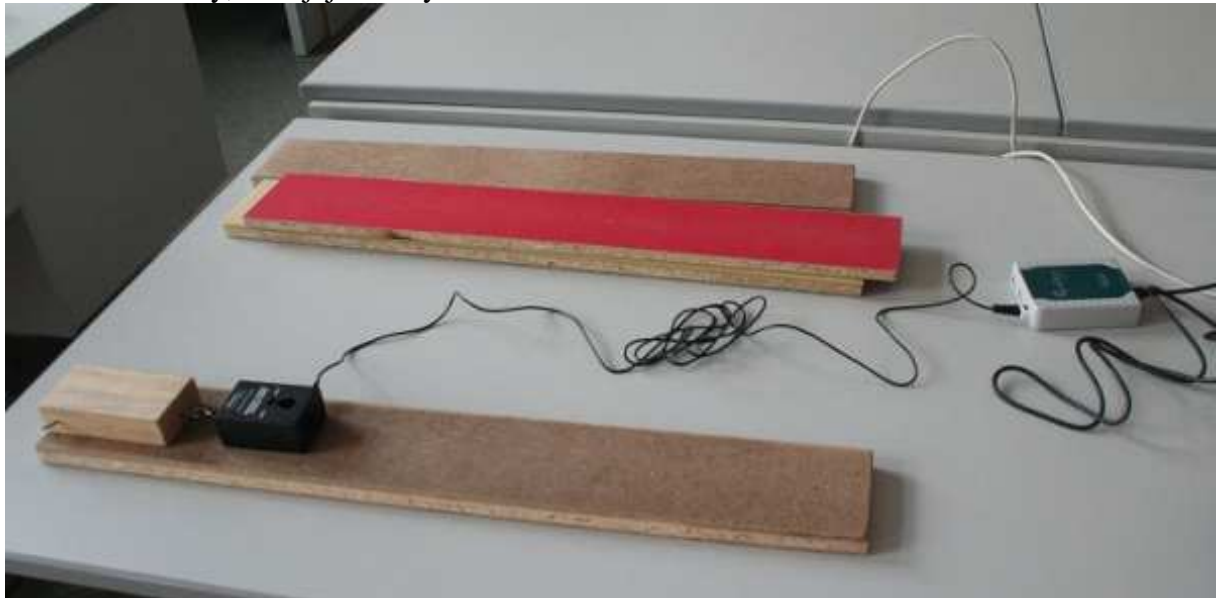
- Velikost povrchu, kterým se krabička dotýká stolu. \Rightarrow Stejně těžkou krabičku, budeme stejnou rychlostí tahat po stejném povrchu tak, aby se dotýkala stolu různě velkými plochami (stačí, když budou mít její stěny různé plochy).
- Hmotnost krabičky. \Rightarrow Stejnou rychlostí budeme tahat 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.

⇒ 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.

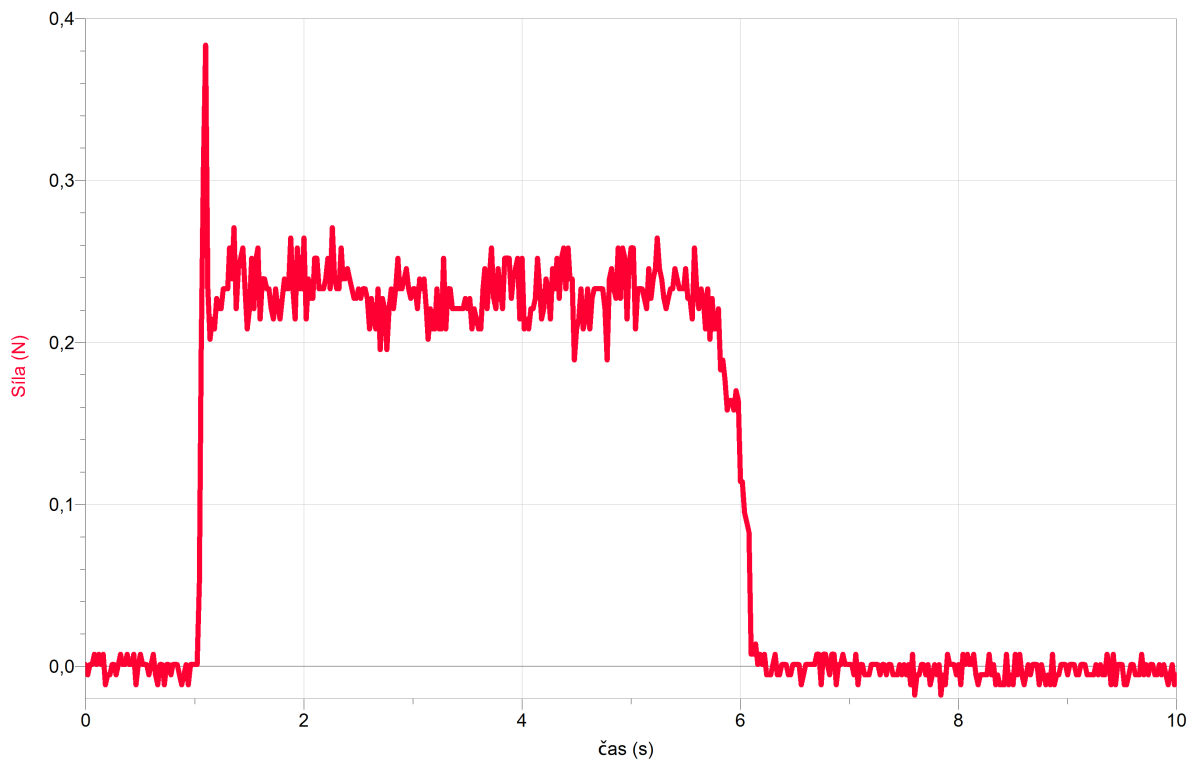
Dodatek: Předchozí postup je základem zkoumání nejen ve fyzice. Největším problémem při uplatňování tohoto postupu je dodržení neměnnosti ostatních podmínek. Zejména v biologických disciplínách nebo v lékařském výzkumu je velmi těžké zajistit třeba dvě skupiny lidí, které se liší například pouze v tom, 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.

Měření třecí síly klasickým siloměrem není příliš pohodlné. My využijeme počítačové čidlo - siloměr, který měří velikost síly i tisíckrát za sekundu. Budeme tak moci sledovat nejen velikost třecí síly, ale i její změny v čase.



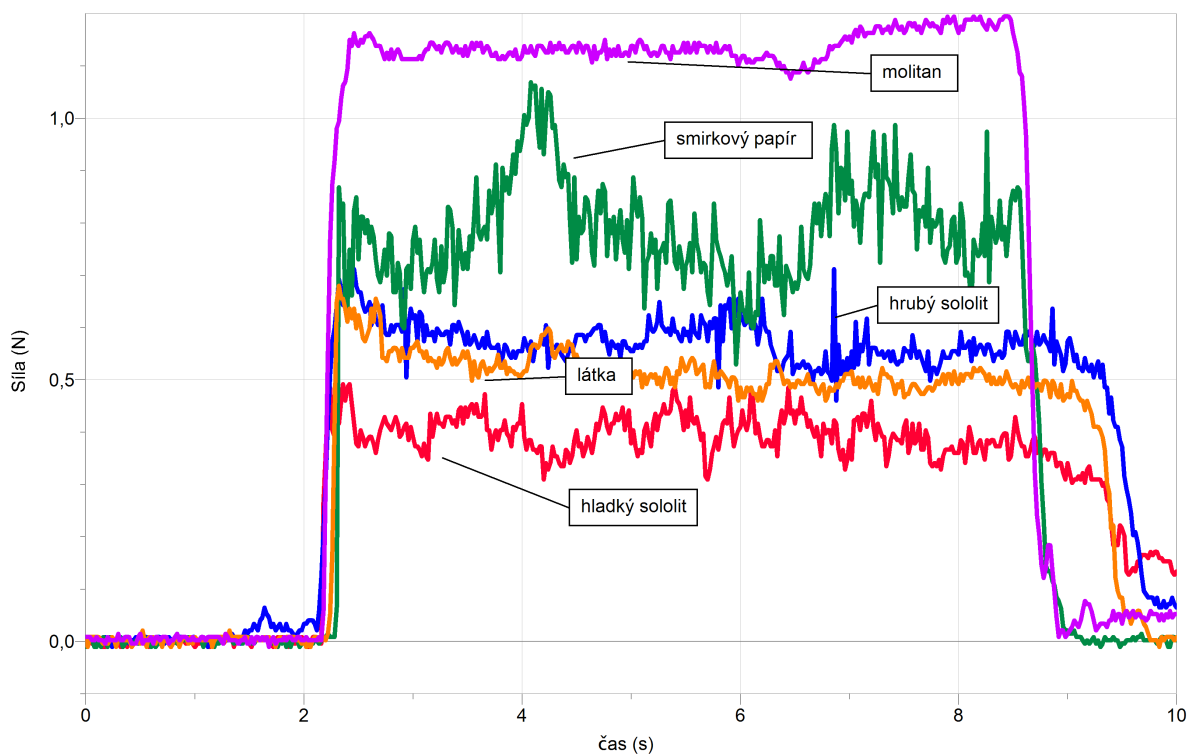
Pedagogická poznámka: V hodině vše měřím naživo.

Př. 5: Prohlédni graf třecí síly naměřené při tahání kvádru po desce stolu. Co důležitého nám říká o třecí síle?



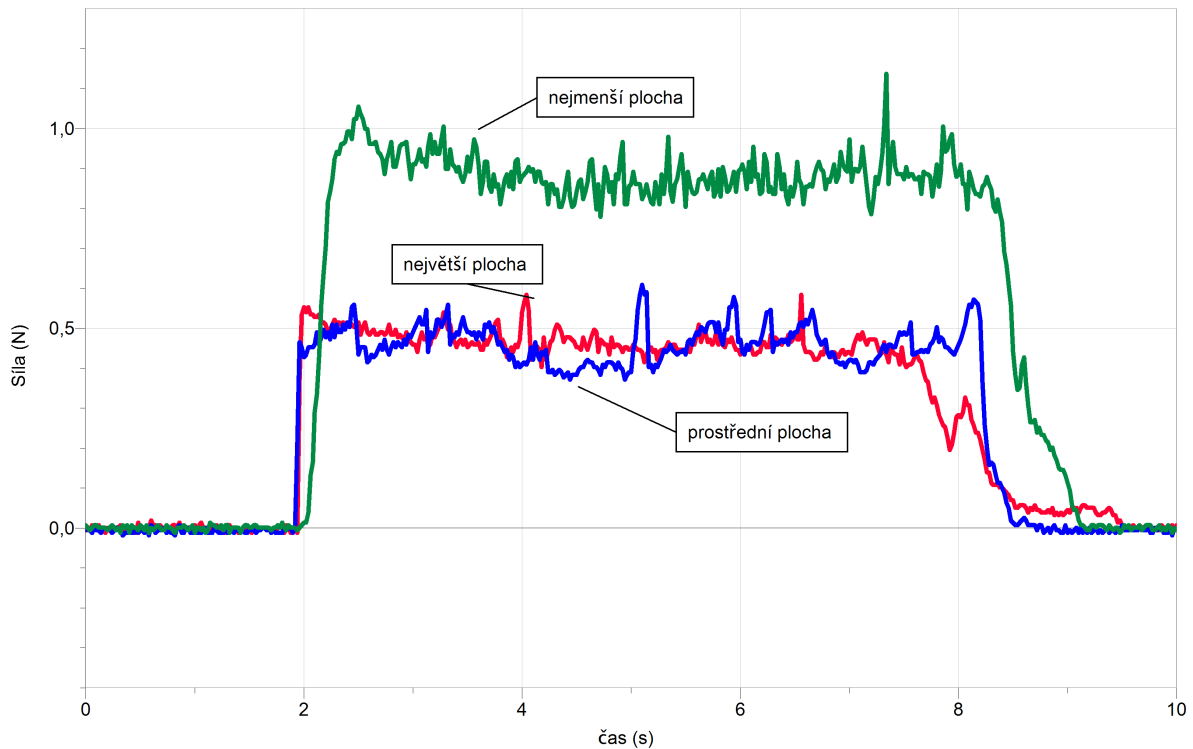
Třecí síla není pořád stejně velká. Mění se, kolísá okolo nějaké hodnoty.

Př. 6: Prostuduj výsledky měření třecí síly při tažení kvádru po různých površích. Závise velikost třecí síly na druhu povrchu?



Na různých površích jsme naměřili velmi rozdílné hodnoty, ačkoliv jsme vždy tahali stejný kvádr, stejnou rychlostí po stejné stěně (ploše) \Rightarrow velikost třecí síly závisí na površích, které se třou.

Př. 7: V grafu jsou zachyceny výsledky měření závislosti třecí síly na velikosti třecí plochy. Závisí velikost tření na velikosti třecí plochy?

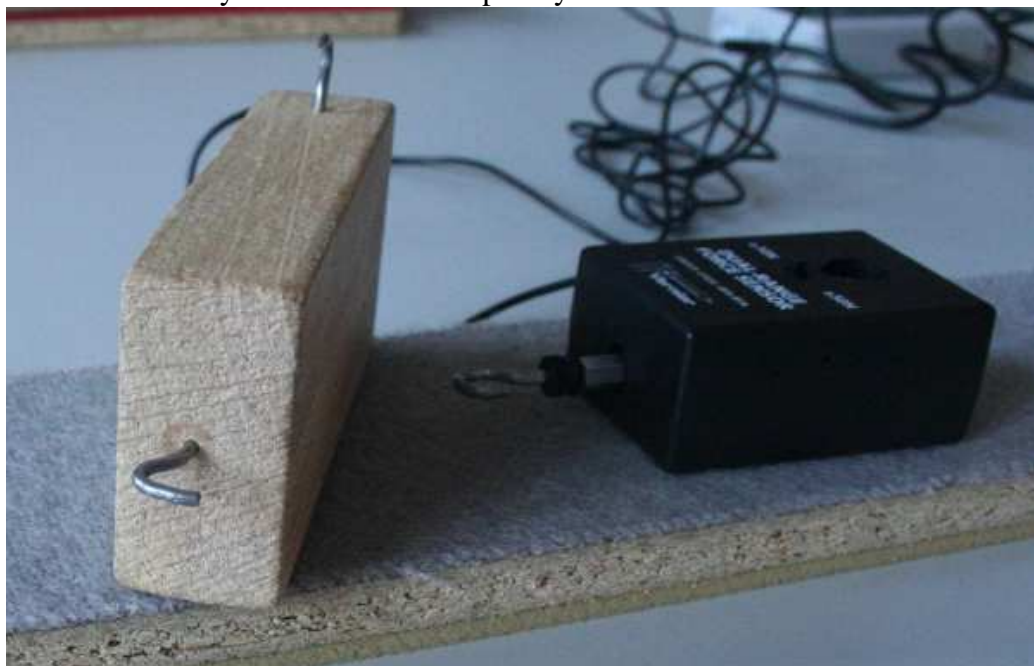


Výsledky jsou rozporné:

- při tření na největší a střední ploše je třecí síla stejná,
- velikost třecí síly při tření na nejmenší ploše je zřejmě větší.

\Rightarrow pokus nepřináší jednoznačný výsledek \Rightarrow je třeba pozorně prozkoumat všechny okolnosti pokusu, zda jsme něco nepřehlédli.

Př. 8: Prohlédni si kvádr zblízka a rozhodni, zda naměřené výsledky znamenají, že velikosti třecí síly závisí na velikosti plochy.

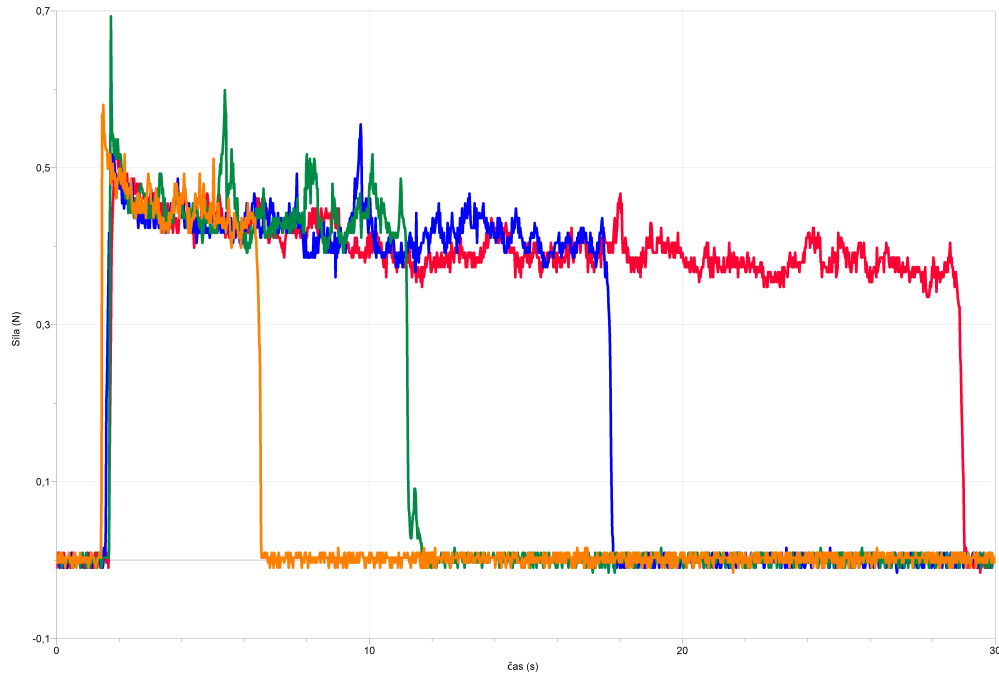


Stěny dřevěného kvádrů nejsou stejné. Dvě větší plochy jsou řezané po vláknech, nejmenší plocha je řezaná kolmo na vlákna, je tedy daleko hrubší než dvě zbývající \Rightarrow větší tření při pohybu po nejmenší ploše není způsobeno menší velikostí plochy, ale jiným typem povrchu.

Pedagogická poznámka: Předchozí příklad vznikl náhodou. Souprava pro měření tření je totiž opravdu vyrobená špatně a dřevěné hranoly mají různou úpravu stěn. Této skutečnosti jsem si nevšiml dokud jsem nenaměřil graf z příkladu 8 a nezačal před žáky rychle přemýšlet, kde se stala chyba. Došlo mně to naštěstí docela rychle a ještě jsem stihl rozeslat kvádry po třídě, kde na to přišla i řada žáků. Každopádně nechápu, jak je možné, že byla vyráběna experimentální sada, která neslouží svému účelu a vede přímo ke špatnému výsledku.

Př. 9: Na obrázku jsou výsledky měření závislosti velikosti třecí síly na rychlosti pohybu. Závisí velikost třecí síly na rychlosti pohybu? Přiřaď k jednotlivým barvám grafů

odpovídající rychlosti (nejmenší, malá, střední, největší).



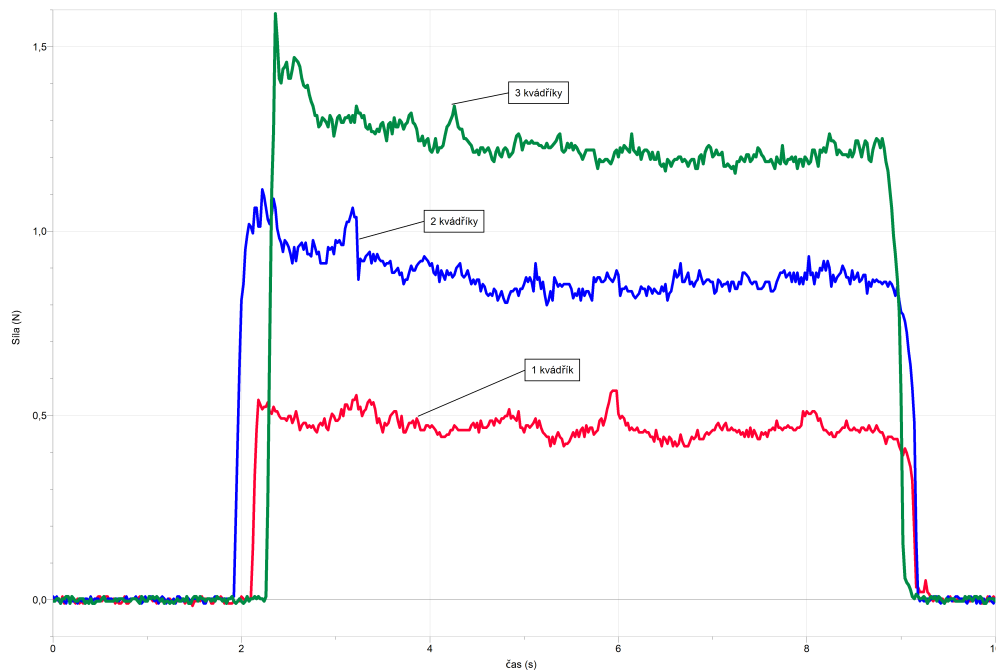
Průměrné velikosti třecí síly ve všech případech kolísají okolo stejné hodnoty \Rightarrow velikost třecí síly pro běžné hodnoty rychlostí na rychlosti nezávisí.

Rozdělení barev

Čím rychleji s kvádrem pohybujeme, tím kratší dobu se pohybuje a rychleji přestaneme tahat a siloměr začne měřit nulovou sílu \Rightarrow

- červená barva: nejmenší rychlost,
- modrá barva: malá rychlost,
- střední rychlost: zelená barva,
- vysoká rychlost: oranžová barva.

Př. 10: Na obrázku jsou výsledky měření závislosti velikosti třecí síly na hmotnosti (počtu kvádrů položených na sobě). Záviseí velikost třecí síly na hmotnosti předmětu?



Čím větší počet kvádrů jsme na sebe položili, tím větší třecí sílu jsme naměřili \Rightarrow velikost třecí síly závisí na hmotnosti předmětu.

Poslední závěr si ještě prověříme. Na obrázku je graf velikosti třecí síly při pohybu kvádrů po stole.

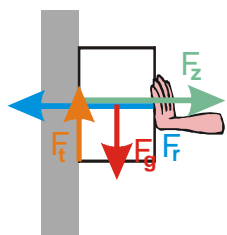
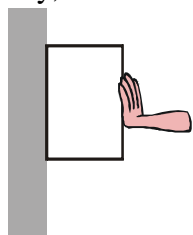
Z výsledků předchozího pokusu se zdá, že tření roste s hmotností předmětu a závisí na typu povrchů, které se o sebe třou.

Př. 11: Najdi situace, při kterých se tření mezi krabičkou a stolem může změnit, aniž by se změnila její hmotnost nebo typ povrchu.

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

Pedagogická poznámka: Předchozí nápad studenti často vnímají jako podvod.

Př. 12: 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:

- Krabice na stole: velikost kolmé tlakové síly krabice je stejná jako velikost gravitační síly na krabici.
- Krabice na stole, zatlačena rukou: velikost kolmé tlakové síly krabice se rovná součtu velikosti gravitační síly na krabici a tlakové síly ruky.
- Krabice tlačena rukou ke zdi: velikost kolmé tlakové síly krabice 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.

Ještě musíme zohlednit skutečnost, že rozpoohybování kvádříků bylo těžší než jejich plynulé tažení ⇒ tření drží stojící předmět více než předmět, který se pohybuje.

Mezi krabicí a stolem působí za klidu „klidové tření“, jeho maximální hodnota je určena pomocí vzorce $F_{t0} = N \cdot f_0$, kde f_0 je koeficient klidového tření.

Hodnota f_0 je pro stejné povrchy větší než hodnota f .

Slovo maximální je použito úmyslně. Klidové tření funguje podobně jako provázek. Když do krabice tlačí nulová síla, klidové tření je nulové, jak se síla zvětšuje, zvětšuje se i klidové tření

až do chvíle, kdy dosáhne své maximální hodnoty. V tom okamžiku se předmět „utrhne“ a začne se pohybovat. Místo klidového tření se objeví menší tření smykové.

Pedagogická poznámka: Je třeba, aby na příklady zbylo minimálně 15 minut. Každého nechám počítat kam až se dostane, postrkuji tak, aby se třída dostala přes první dva příklady.

Př. 13: Urči, jakou největší hmotnost může mít předmět rovnoměrně tažený po vodorovné podlaze $f = 0,8$ na provázku, který 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: $F_t = Nf$

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

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

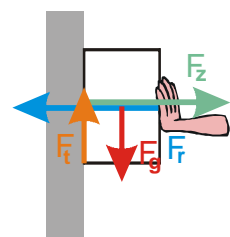
$$m = \frac{F_t}{fg} = \frac{150}{0,8 \cdot 10} \text{ kg} = 18,8 \text{ kg}$$

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. 14: 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.

Př. 15: V kufru auta je umístěna velká krabice a na ní nezajištěná malá další s křehkým obsahem. Při jaké situaci hrozí, že se nezajištěná krabice dá do pohybu směrem dopředu, zničí svůj obsah a možná i zraní řidiče nebo jiné cestující? Příklad vyřeš i početně za předpokladu, že koeficient tření mezi krabicemi má hodnotu 0,6.

Malá krabice je nezajištěná \Rightarrow výsledná síla, která na ní působí se rovná maximálně tření mezi ní a spodní krabicí \Rightarrow nebezpečí hrozí, pokud velikost tření nebude postačovat k tomu, aby se rychlost horní krabice měnila spolu se zbytkem auta \Rightarrow krabice se může uvolnit při prudké změně rychlosti (při velkém zrychlení).

Řidiče může krabice ohrozit, když se bude pohybovat z kufru dopředu \Rightarrow pokud řidič prudce brzdí (krabice si zachovává svůj pohyb, protože nepůsobí dostatečně velká síla, která by její pohyb změnila).

Čím větší je zrychlení auta, tím větší musí být třecí síla působící na horní krabici, aby ji donutila pohybovat se s autem $\Rightarrow F_v = F_t$.

Dosažení: $ma = Nf$.

Kolmá tlaková síla odpovídá gravitační síle $\Rightarrow N = F_g = mg$.

$$ma = mgf$$

$$a = gf = 10 \cdot 0,6 \text{ m/s}^2 = 6 \text{ m/s}^2$$

Krabice se začne pohybovat, pokud se auto bude pohybovat s větším zrychlením než 6 m/s^2 , svým pohybem řidiče ohrozí, pokud bude prudce brzdit.

Př. 16: Miloušek si hrál se siloměrem. Zavěsil za něj dřevěný kvádřík a naměřil 3 N. popotáhl kvádřík rovnoměrně přímočaře po stole a naměřil 0,8 N. Pak na kvádřík zatlačil kolmo dolů rukou a měřená síla vzrostla na 2 N. Jakou silou na kvádřík tlačil?

Při tlačení rukou se zvětšila o sílu ruku kolmá tlaková síla mezi kvádříkem a stole a tím se také zvýšilo tření.

Určení hmotnosti

Síla, kterou naměřil při zavěšení kvádříku na siloměr, má stejnou velikost jako gravitační síla

$$\Rightarrow F_g = mg \Rightarrow m = \frac{F_g}{g} = \frac{3}{10} \text{ kg} = 0,3 \text{ kg}$$

Určení koeficientu tření

Při rovnoměrném tažení naměřil velikost třecí síly.

$$F_t = Nf = mgf \quad f = \frac{F_t}{mg} = \frac{0,8}{0,3 \cdot 10} = 0,27$$

Určení tlakové síly ruky

Při zatlačení rukou se kolmá tlaková síla rovná součtu gravitační síly a síly ruky: $N = F_g + F$

$$\Rightarrow F = N - F_g.$$

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

$$F = N - F_g = \frac{F_t}{f} - mg = \frac{0,8}{0,27} - 0,3 \cdot 10 \text{ N} = 4,5 \text{ N}$$

Miloušek zatlačil na kvádr silou 4,5 N.

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