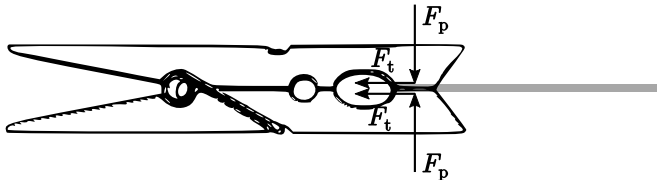


## Úloha IV.E ... Kolíčky

9 bodů; průměr 4,24; řešilo 33 studentů

Změřte, jakou tlakovou silou působí přiložený kolíček na pověšené prádlo, tedy v našem případě na kancelářský papír. My vám pouze prozradíme, že koeficient tření mezi dřevem, ze kterého je kolíček vyroben, a běžným kancelářským papírem je  $f = 0,5$ .

Pomocí vám může poznaček, že třecí síla  $F_t$  je  $f$ -násobek příslušné tlakové síly  $F_p$  a přiložený obrázek. Samotný postup měření navrhnete sami. Měření ale rozhodně zopakujte vícekrát a naměřené hodnoty zprůměrujte. Zamyslete se též nad nepřesností vašeho měření.



Obr. 1: Síly působící na papír zachycený v kolíčku.

## Teorie

Pro správné vyřešení této úlohy musíme nejdříve rozebrat působení různých sil.

Z obrázku 1 rovnou vidíme, že síla potřebná na vytáhnutí papíru ze sevření kolíčku je  $F = 2F_t$ , neboť tření působí na obě strany papíru. Měřit tuto sílu je jednoduché – stačí na papír pevně připevnit závaží o hmotnosti  $m$ , které bude papír tahat silou  $F = mg$ , kde  $g$  je tíhové zrychlení. Hmotnost závaží potřebná k vytažení papíru z kolíčku je tedy  $m = F/g = 2F_t/g$ .

Dále se lze ze zadání dovědět, že pro třecí sílu platí  $F_t = fF_p$ . Dosadíme-li tento vztah do rovnice pro  $m$ , dostaneme

$$m = \frac{2F_t}{g} = \frac{2fF_p}{g} \Rightarrow F_p = \frac{mg}{2f}. \quad (1)$$

Dosadíme-li do posledního vztahu hodnotu  $f = 0,5$ , vztah pro tlakovou sílu se ještě víc zjednoduší:  $F_p = mg$ . Budeme-li tedy měřit hmotnost závaží, které lze na papír pověsit, budeme okamžitě vědět i hodnotu hledané tlakové síly.

## Experiment

Naše experimentální zařízení bylo velice jednoduché. Na svislou desku jsme tavicí pistolí přilepili čtyři kolíčky, abychom se dozvěděli více o tom, zda-li jsou kolíčky stejné. Dále jsme si připravili proužky kancelářského papíru, na které jsme přilepili pytlíky. Jako závaží jsme použili kuchyňskou sůl, kterou jsme postupně přisypávali do pytlíků, čímž rostla síla, kterou byl papír vytahován z kolíčků. V momentě, kdy papír vyklouzl z kolíčku a tíhová síla se rovnala tlakové (viz rovnici 1), jsme pytlík zvažili na kuchyňské váze.

Měření jsme zopakovali pětkrát pro každý kolíček a výsledky měření jsme zapsali do tabulky 1. Průměrná hmotnost, kterou kolíček udrží, je  $\langle m \rangle$ . Abychom ocenili i rozptyl jednotlivých hodnot, vypočítali jsme i tzv. *standardní odchylku*  $\sigma$ . Postupů pro výpočet této odchylky je více, my jsme použili následující z nich:

Tab. 1: Změřené hmotnosti závaží v gramech. V předposledním řádku jsou uvedeny průměrné hodnoty a v posledním řádku odpovídající standardní odchylky.

	1. kolíček	2. kolíček	3. kolíček	4. kolíček
1	388	298	214	382
2	398	357	202	374
3	351	350	253	334
4	335	310	181	450
5	389	335	163	392
$\langle m \rangle$	<b>372</b>	<b>330</b>	<b>203</b>	<b>386</b>
$\sigma$	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>28</b>	<b>41</b>

- (1) Nejdříve jsme pro každý kolíček vypočítali druhé mocniny změřených hmotností.
- (2) Pak jsme vypočítali průměrnou hodnotu těchto druhých mocnin  $\langle m^2 \rangle$ . Všimněte si, že tato hodnota (průměr druhých mocnin) je jiná než druhá mocnina průměrů ( $\langle m \rangle^2$ ).
- (3) Standardní odchylka se nakonec vypočítá jako odmocnina rozdílu těchto dvou hodnot, tzn.  $\sigma = \sqrt{\langle m^2 \rangle - \langle m \rangle^2}$ .

Vynásobíme-li hmotnosti tíhovým zrychlením  $g = 9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ , dostaneme příslušnou tlakovou sílu pro jednotlivé kolíčky:

$$F_{p1} = (3,65 \pm 0,26) \text{ N}, \quad F_{p3} = (1,99 \pm 0,27) \text{ N},$$

$$F_{p2} = (3,24 \pm 0,23) \text{ N}, \quad F_{p4} = (3,79 \pm 0,40) \text{ N}.$$

O kolíčcích tedy můžeme říct, že ve většině případů je jejich tlaková síla velká zhruba 3,5 N, ojedinelé můžeme ale nalézt i slabší kolíčky.

Rozptýl měřených hodnot a nepřesnost měření jsou způsobeny vícero faktory. Za prvé, hodnota koeficientu  $f$  se jistě mění v závislosti na konkrétním kolíčku a typu použitého papíru. Drobné odchylky ve vlastnostech má i pružinka, kterou kolíček drží pohromadě. Proto se jednotlivá měření od sebe tak moc lišila. Nepřesné bylo i vážení soli. Nepřesnost naší váhy byla asi 1 g. Tato nepřesnost je ale mnohem menší než odchylka způsobena změnami ve vlastnostech kolíčků.

*Patrik Švančara*  
pato@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími 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/>.