

Úloha V.E ... Sešity

7 bodů; průměr 4,87; řešilo 30 studentů

Pořídte si dva 40-stranové sešity A4, klidně i popsané. Pak sešity spojte tím, že budete prokládat jednotlivé stránky. Poté změřte, jakou silou musíte na jeden ze sešitů působit, abyste je od sebe odtrhli. Měření zopakujte pětkrát pro alespoň pět různých počtů proložených stránek.

Poté nakreslete graf závislosti použité síly na počtu proložených stránek a z grafu odhadněte, jaká síla je zapotřebí na odtrhnutí úplně proložených sešitů.

Způsob, jak sílu působící na sešit změřit, necháváme na vaší fantazii. V řešení se ale o něj nezapomeňte podělit!

Teorie

Úloha není z teoretického hlediska jednoduše popsatelná. Zvlášť těžké je dopředu odhadnout, jaká síla bude potřeba na oddělení sešitů. Jistě ale víme, že při jejich oddělování je třeba překonat třecí sílu. Touto silou v našem případě není jen síla, kterou se dva povrchy volně třou o sebe. Do výsledné třecí síly velkou mírou přispívá i síla pocházející od vazby sešitu, která tlačí listy k sobě.

Zjistit, jaká bude síla vazby, už není tak jednoduché. Platí, že čím větší počet listů se v sešitech proloží, tím větší silou vazba působí na listy. Je-li proložených stránek málo, listy sešitů jsou na jeho vazbu téměř kolmé a tudíž síla, kterou vazba přispívá do třecí síly, je malá. Překonat tedy musíme prakticky jen třecí sílu mezi listy.

Když je proložených listů více, úhel, který list svírá s vazbou, už není pravý a tažná síla, kterou sešity od sebe oddělujeme, nepůsobí přímo proti třecí síle. Navíc, čím více listů je proložených, tím větší je vzájemná třecí síla mezi listy, kterou musíme překonat.

Vliv vazby bychom odstranili, pokud bychom použili například sešity s kroužkovou vazbou. Dalším faktorem, který ovlivňuje výslednou velikost síly, je také to, jak moc jsme listy obou sešitů do sebe zastrčili.

Po tomto zamyšlení tak můžeme předpokládat, že už i s malým zvýšením počtu stránek se síla potřebná na jejich oddělení velmi zvýší.

Postup práce

Způsobů, jak měření zpracovat, je opravdu hodně. Nejvíce přesné by samozřejmě bylo měřit nějakým elektronickým siloměrem. My si ale dokážeme poradit i s domácími alternativami.

K měření jsme použili dva 40-stránkové sešity, které jsme uprostřed obvázáli provázkem. Jeden sešit jsme položili na stůl a provázkem ho upevnili tak, aby se na stole nepohyboval. Oba sešity jsme umístili tak, aby vazba sešitu, za který se tahá, byla asi 2 cm od okraje stolu (abychom co nejméně zamezili tření o stůl). Na druhý sešit jsme na konec provázku přivázali plastovou lahev, do které jsme vždy přilévali vodu, dokud se sešit nepohnul.

Množství vody v lahvi bylo vždy změřeno odměrným válcem. Změřili jsme celkem sedm různých hodnot počtů stránek, z nichž každou jsme třikrát ověřovali.

Naměřené hodnoty

Hodnoty, které jsme naměřili můžete vidět v tabulce 1. Gramy je poté třeba převést na newtony ($1\text{ N} = 100\text{ g}$). Průměry naměřených hodnot jsme zanesli do grafu a proložili je exponenciální křivkou, která nejlépe odpovídala naměřené závislosti. Teoretické zdůvodnění, proč je růst síly

exponenciální, vychází ze složitého výpočtu, při kterém je třeba vzít v potaz právě úhel, které list svírá s vazbou.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty

počet stránek	hmotnost vody potřebná k roztržení/g		
1	60	70	50
3	130	155	140
5	170	200	190
7	390	420	380
8	460	500	475
10	675	680	725
12	1230	1300	1310

Chyby měření

V průběhu měření jsme se potýkali se spoustami obtíží. Pokusíme se všechny z nich zmínit.

Pokud jste použili stejnou nebo podobnou metodu, tak jste si určitě všimli, že čím rychleji jste vodu do lahve lili, tím menší sílu potřebnou k odtrhnutí sešitů jste změřili. Tekoucí voda má totiž nějakou rychlost a v lahvi se zastavuje. Tím na lahev působí dodatečnou silou. Tento problém jsme se snažili vyřešit tím, že jsme nechali vodu stékat po stěnách.

Přibližně od sedmi proložených listů jsme zjistili, že je třeba přidržovat vazbu sešitu, který stabilně ležel na stole, protože oba dva sešity měly spíše tendenci celé spadnout, než se rozdělit. Sešit na stole jsme samozřejmě přidržovali z boku, protože kdybychom tlačili kolmo na vazbu, tak bychom pouze zvyšovali onu sílu vazby a sešity by se nemusely vůbec oddělit.

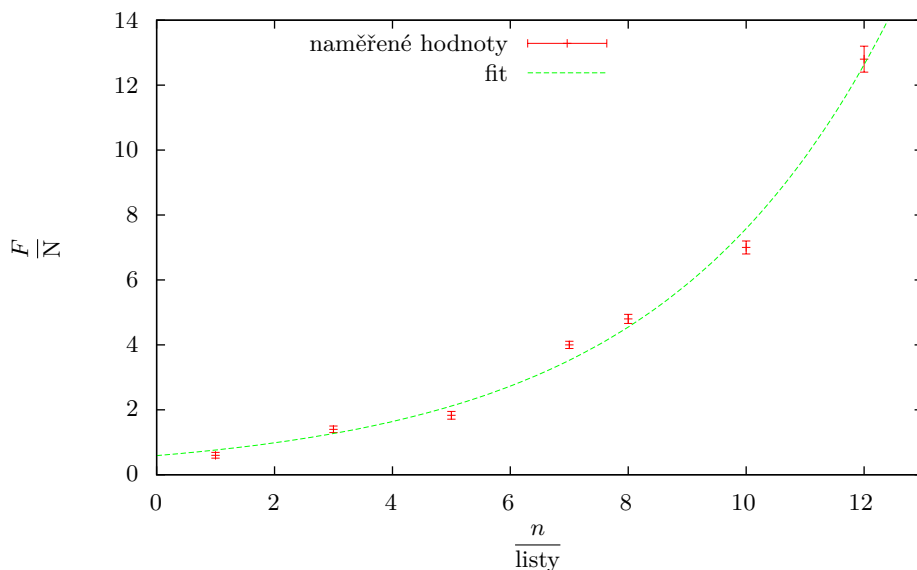
Jedním ze zásadních problémů, na který jste si snad všichni dali pozor, bylo to, že oba dva sešity bylo vždy nutné do sebe stejně zasunout. Pokud jsme jednou zasunuli sešit 1 cm od vazby a podruhé 1,5 cm, tak to výrazně změnilo sílu potřebnou k oddělení sešitů a pokus bylo třeba zopakovat znovu.

Chyby se samozřejmě objevily při měření množství vody, protože v lahvi vždycky nějaký zbytek vody zůstal.

Závěr

Změřili jsme závislost síly potřebné na oddělení sešitů na počtu listů, kterými jsou spojeny. Závislost můžeme vidět v grafu na obrázku 1. Jak jsme předpokládali, naměřená závislost je exponenciální.

Pokud jste graf zpracovávali například v Excelu, tak při přidávání spojnice trendu jste mohli zaškrtnout, že chcete zobrazit i rovnici regrese, která popisuje danou funkci. Pokud za x v této rovnici dosadíte maximální počet listů (tedy 40), tak se dozvíte sílu, která je teoreticky potřebná k roztržení sešitů. Nám vyšlo, že celková síla k roztržení sešitů je přibližně 11,5 kN, což odpovídá tíhové síle 1,15 t vody. A to je na pár stránek papíru opravdu hodně. V reálném případě by



Obr. 1: Graf závislosti síly potřebné k oddělení sešitů na počtu listů

k oddělení sešitů vůbec nedošlo, protože mez pevnosti v tahu papíru velikost A4 je rozhodně menší než 11,5 kN. Sešity by se tedy dříve roztrhly než oddělily.

Kateřina Stodolová
 katas@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/>.