

Úloha III.E ... Krájení vody

6 bodů; průměr 2,53; řešilo 30 studentů

Vezměte kostku ledu a kus drátu. Pokud začnete drátem prořezávat led (zatížíte závažím konce drátu), zjistíte, že se vám drát prořeže kostkou ledu, aniž by se kostka roztopila.

Na čem všem závisí doba prořezávání drátu? Zkuste proměřit nejrůznější parametry (tloušťka ledu, průměr drátu, závaží, kterým jste zatížili konce drátu)...



Prozkoumat, na čem všem závisí doba prořezávání, není snadné. Proto společnými silami se pokusíme něčeho dobrat. Došlé výsledky měření naleznete v tabulce 1.

Nejdříve se zamyslíme nad tím, jak závisí doba prořezání drátu na tloušťce ledu. Vezmeme několik kostek (kvádrů) s různou tloušťkou a budeme měřit dobu prořezání při zachování všech ostatních parametrů. Z výsledků zapsaných v tabulce je jasné, že se zvyšující se tloušťkou ledu se doba zvyšuje.

Další parametr, který budeme zkoumat je hmotnost závaží. Budeme postupovat obdobně jako v předcházejícím případě. Pokud se podíváme na výsledky v tabulce 1, tak snadno uvidíme, že doba prořezání je nepřímo úměrná hmotnosti závaží.

Velmi často diskutovaný parametr ve vašich řešeních byla tloušťka drátu či lanka. Ta se ukázala trochu zrádná, neboť tenká lanka se mnohdy trhala a tlustá lanka zase vyžadovala těžká závaží, nebo dlouhou dobu měření. Přesto můžeme říci, že čím tlustší lanko, tím déle se led prořezával.

Poměrně problematickým parametrem, nad kterým se mnoho z vás nezamyslelo, byla okolní teplota. Neboť při vyšší teplotě led začne tát a prořeže se rychleji, kdežto při nižší teplotě některým drát během prořezávání zamrzl v ledu. Jak ale asi tušíte, tak měřit dobu průřezu v závislosti na okolní teplotě je náročnější.

Několik experimentátorů si také všimlo, že doba prořezávání ledu závisí na materiálu, ze kterého bylo lanko vyrobeno. *Sourozenci Šmejkalovi* například dostávali různé doby prořezání při použití železného či měděného lanka. *Josefu Koláři* se zase lišily naměřené doby pro měděné lanko a pro rybářský vlasec. Bylo by zajímavé zkoumat, na jakých parametrech materiálu doba prořezávání závisí, ale to bychom se dostali k úplně jiné úloze :-). Do zajímavého experimentu se pustil *Matěj Mezera*, který prořezával kostky, které neměly tvar obyčejného kvádrů (či krychle), ale používal kostky, které měly lichoběžníkový průřez. Zkoumal také prořezávání více kostkami (s lichoběžníkovým průřezem) a prořezávání při různém natočení kostek. Dostal zajímavé výsledky, ovšem ke složitosti experimentální aparatury je dost náročné z výsledků něco určit, neboť se nám měnila šířka kostek při prořezávání ledu.

Nyní je vhodný čas si povědět co jsme to vlastně měřili. Proces, který jsme zkoumali se nazývá *regelace ledu*. Při zatížení části ledu se snížila teplota tání a tak jsme mohli sledovat, jak se led natavil a drát prošel, po průchodu drátu už na led nepůsobil tlak a tak se teplota tání „vrátila“ na původní hodnotu a led opět zamrzl. Dobu průchodu drátu ledem můžeme vyjádřit vztahem

$$t = \frac{(adQ)^2 \varrho_{\text{led}}}{\lambda mgT \left(\frac{1}{\varrho_{\text{led}}} - \frac{1}{\varrho_{\text{voda}}} \right)},$$

Tabulka 1: Data naměřená řešiteli

<u>tloušťka ledu</u>	<u>tloušťka drátu</u>	<u>hmotnost závaží</u>		<u>čas</u>	<u>autor</u>	
cm	mm	g	materiál	s		
0,5	–	1000	železo	266	Šmejkalovi	
0,5	–	2000	železo	247		
0,5	–	4000	železo	212		
0,5	–	1000	měď	374		
0,5	–	2000	měď	361		
0,5	–	4000	měď	349		
1	–	1000	železo	467		
1	–	2000	železo	451		
1	–	4000	železo	430		
1	–	4000	měď	791		
6	0,5	500	–	9930	Klára Stefanová	
6	1	500	–	4865		
6	1,5	1500	–	4810		
5	0,25	400	měď	68400	Matěj Hrabal	
5	0,25	200	měď	97200		
5	0,7	200	měď	183600		
5	0,5	1000	vlasec	242	Josef Kolář	
10	0,5	1000	vlasec	539		
5	0,2	1000	vlasec	193		
5	0,5	1000	vlasec	216		
5	0,5	1000	vlasec	242		
5	0,5	2000	vlasec	186		
5	0,5	1000	vlasec	232		
5	0,5	1000	měď	256		
2,4	0,25	420	–	690		Jaroslav Janoš
2,4	0,25	630	–	645		
2,4	0,25	880	–	450		
1,3	0,25	420	–	430		
1,3	0,25	630	–	380		
1,3	0,25	880	–	330		
2,4	1,2	420	–	860		
2,4	1,2	630	–	750		
2,4	1,2	880	–	585		
1,3	1,2	420	–	450		
1,3	1,2	630	–	405		
1,3	1,2	880	–	340		
1	0,9	100	–	480	Zuzana Viceníková	
1	0,9	200	–	300		
1	0,9	250	–	252		
4	0,53	1000	–	18780	Martin Štyks	
4	0,2	1000	–	14940		
4	0,14	1000	–	10800		
39	0,2	1000	–	14940		
26	0,2	1000	–	3960		
16	0,2	1000	–	1380		
26	0,2	500	–	3940		
26	0,2	700	–	3810		
26	0,2	1000	–	3675		

kde a je tloušťka ledu, d je průměr drátu, Q je skupenské teplo tání, ρ_{led} je hustota ledu, λ je tepelná vodivost drátu, m je hmotnost závaží, g tíhové zrychlení, T je teplota tání, ρ_{voda} je

hustota vody. Odvození tohoto vztahu naleznete na internetu¹. Jak vidíte, tak doba prořezávání závisí na námi diskutované hmotnosti závaží, průměru drátu, tloušťce ledu a na materiálu lanka.

Na závěr bych rád poznamenal, že se jednalo o experimentální úlohu. To znamená, že se od vás očekávaly nějaká naměřená data. Ti, kdo pouze napsali na čem doba prořezání závisí, nebo pouze opsali ze zmiňovaných stránek vzorec, aniž se namáhali uvést zdroj, ze kterého čerpali, nemůžou očekávat více jak jeden bod.

©*radim Pechal*
radim@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci 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/>.

¹<http://www.vscht.cz/fch/pokusy/89.html>