

Úloha III.E ... Nenasytné kapesníčky 7 bodů; průměr 5,58; řešilo 60 studentů

Říká se, že kapesníčky jsou velmi savé, ale my bychom si to chtěli ověřit v praxi. Proto jsme vám se zadáním zaslali pět kapesníků. Nejdříve si na kapesníčky nakreslete stupnici s délkou po centimetru. Pak je pověste nad nádobu s vodou tak, aby se voda do kapesníčku nasávala podél jedné z jeho stran. Vaší úlohou bude měřit časy, za které stoupne hranice smáčené části kapesníčku o centimetr. Měření zopakujte se všemi kapesníčky a naměřené hodnoty odpovídající stejné výšce zprůměrujte. Pak nakreslete graf závislosti těchto časů na výšce smáčené části kapesníků.

Jak to funguje

Jak je vůbec možné, že voda se samovolně nasává do kapesníků? Na první pohled to přece fyzika zakazuje: pokud kapička vody vystoupá po kapesníčku do nějaké výšky, spotřebuje na to energii, která je rovna práci konané proti tíhové síle (této práci se též říká *potenciální energie*). Touto energií ale kapička vody jistě nedisponuje!

Na rozlousknutí této záhady bude mít svůj podíl samotný kapesníček a materiál, z něhož je vyroben. Kapesníček, který jste obdrželi, měl čtyři vrstvy, a mezi nimi tři úzké mezery vyplněné vzduchem. Energie rozhraní¹ kapesníček-vzduch je ale vyšší než energie rozhraní kapesníček-voda. Je tedy energeticky výhodné, když se vzduchové mezery v kapesníčku nahradí vodou; takto „uvolněná“ energie se pak spotřebuje na dosud nevysvětlené stoupaní vody a zkoumaný jev tedy může nastat.

Měření

Pokud postupujeme podle zadání, není těžké si kapesníčky připravit k měření. My jsme kapesníček pověsili nad misku s vodou tak, aby byl kapesníček ponořen do hloubky 1 cm pod hladinu. Tak dosáhneme optimální kontakt kapesníčku s vodou a zároveň můžeme měřit stoupaní vody o centimetry podle předem nakreslené stupnice.

Ovšem přesné měření času bylo trochu obtížné, neboť voda se do kapesníčku nenasávala úplně rovnoměrně a hranice suché a smáčené části nebyla vůbec rovná. Největší obtíž jsme pozorovali v okolí místa, kde byl kapesníček přeložen. Měřený časový úsek jsme tedy zaznamenali v momentu, kdy hranice smáčeného kapesníčku již z větší části překročila přes měřenou hranici. Všechny naměřené hodnoty časů t pro pět různých kapesníků a osm různých výšek h i jejich průměry uvádíme v tabulce 1.

Na popsání nepřesnosti jednotlivých měření jsme vypočítali i nepřesnosti vypočítaných průměrů, a to velmi jednoduchým způsobem, který se ve fyzice velmi často využívá:

- 1) od naměřených časů jsme odečetli průměr a tento rozdíl jsme umocnili na druhou,
- 2) tyto čísla jsme v rámci jednoho měření sečetli,
- 3) součet jsme vydělili výrazem $N(N+1)$, kde N je počet měření, tzn. v našem případě $N = 5$ a $N(N+1) = 5 \cdot 6 = 30$,
- 4) nakonec jsme toto číslo odmocnili.

V tabulce je tato nepřesnost uvedena v posledním sloupci a označena řeckým písmenem σ (sigma). Na závěr jsme spočítané průměry vynesli do grafu na obrázku 1. Nepřesnosti měření zde uvádíme jako chybové úsečky. Vidíme, že čas potřebný na smáčení dalšího a dalšího centimetru

¹Ano, každé rozhraní dvou látek má svoji energii. Její velikost závisí na velikosti plochy rozhraní a také na tzv. povrchovém napětí, které závisí na materiálech, mezi kterými rozhraní zkoumáme.

Tabulka 1: Naměřené hodnoty. Výška h označuje počátek měřeného úseku, tzn. v prvním sloupci jsou uvedeny časy, za které hranice smáčené části kapesníčku vystoupala z výšky 1 cm do výšky 2 cm.

$\frac{h}{\text{cm}}$	naměřené časy t/s					$\frac{\bar{t}}{s}$	$\frac{\sigma}{s}$
	A	B	C	D	E		
1	1,0	1,9	1,0	1,0	1,2	1,2	0,2
2	6,0	6,1	4,7	3,2	6,9	5,4	0,6
3	15,4	14,0	13,4	11,7	14,0	13,7	0,5
4	34	34	34	22	38	27	4
5	66	44	49	31	54	41	6
6	98	65	68	53	96	64	9
7	132	106	107	95	133	96	10
8	208	179	173	144	216	154	17

kapesníčku velmi rychle roste. Ve fyzice se velká část takto rostoucích procesů řídí exponenciální funkcí.² Tuto funkci, v počítači naškálovanou tak, aby nám co nejpřesněji kopírovala naše data, uvádíme rovněž v grafu na obrázku. Vidíme, že shoda dat s funkcí je v rámci chyb velmi dobrá. Tím jsme ukázali, že nasávání vody do kapesníčků není vůbec chaotický proces, právě naopak, zajisté se řídí nějakým, nám neznámým zákonem.

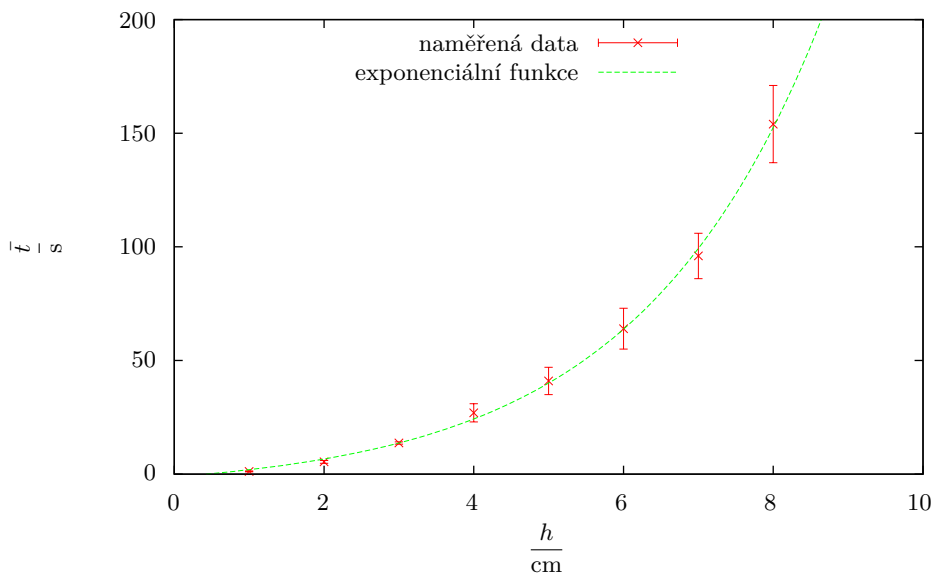
Poznámky k došlým řešením

Najčastejšia (a v podstate jediná zásadná) chyba, ktorú urobilo niekoľko z vás, sa týkala osí grafu. V zadaní sme od vás požadovali zostrojiť závislosť času na výške zmáčanej časti. Táto formulácia znamená, že čas budeme vynášať na zvislú a výšku na vodorovnú os, nie naopak. Navyiac, medzi fyzikmi je zaužívané pravidlo, že veličinu, ktorú *meriame*, vynášame takmer vždy na zvislú os. Za túto chybu som vám strhol jeden bod.

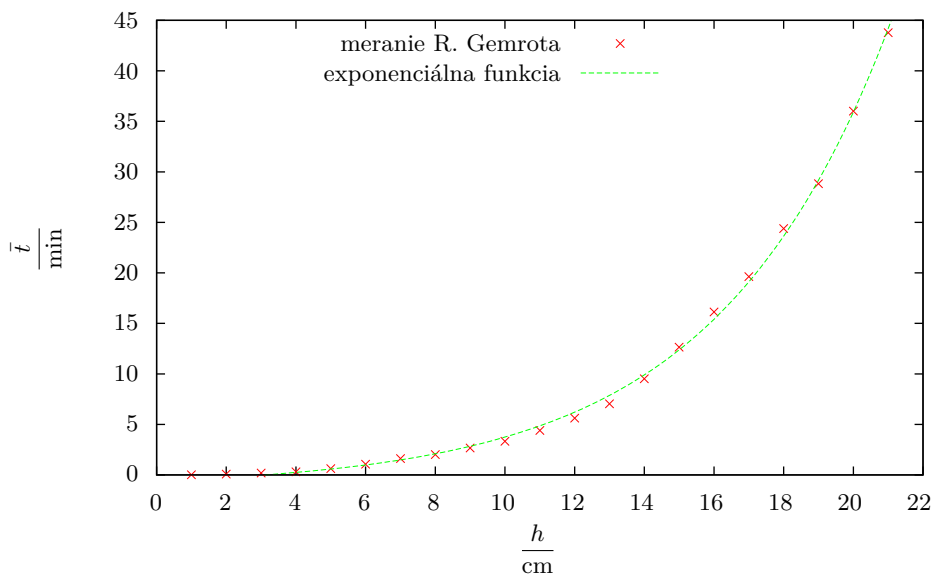
Rovnako bod som strhol riešiteľom, ktorí poslali riešenie obsahujúce iba tabuľku s číslami a graf (aj keď často správny), no žiaden slovný komentár o tom, ako meranie prebiehalo. Na druhej strane chcem pochváliť riešiteľov, ktorí si všimli rôzne zaujímavé vlastnosti experimentu a podelili sa s nami o ne.

Na záver musím ale dodať, že takmer všetci ste namerali kvalitné dáta, ktoré naozaj ukazovali, že nameraná závislosť je exponenciálna. Vďaka výnimočne trpezlivým riešiteľom máme vzliňanie vody namerané až do nasiaknutia vody do celého kapesníčku (jedno meranie tak trvalo takmer hodinu). Namerané hodnoty Roberta Gemrota si môžete prezrieť na obrázku 2.

²Exponenciálna funkcia, zkrátené exponenciála, je funkcia typu $y = e^x$, kde $e \doteq 2,72$ je Eulerovo číslo. Více o exponenciální funkci naleznete ve Výfuctení 5. série 4. ročníku na adrese <http://vyfuk.mff.cuni.cz/ulohy/vyfucteni>.



Obr. 1: Graf závislosti času smáčení 1 cm kapesníčku na výšce smáčeného rozhraní



Obr. 2: Rozšířený graf závislosti času zmáčania 1 cm kapesníčku na výšce zmáčaného rozhrania

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/>.