

17. ročník, úloha II. E ... moucha na hladině (8 bodů; průměr 2,91; řešilo 35 studentů)

Z obdélníkové nádoby vyléváme vodu přes jednu její stěnu. Na hladině plave mrtvá moucha. Proměřte, jak se bude moucha při velmi pomalém vylévání pohybovat. Místo mrtvé mouchy můžete použít jiný odpovídající předmět.

Za dlouhých zimních večerů nad úlohou bádala Honza Houštěk.

Úvod

Ti z vás, kteří se rozhodli experimentální úlohu řešit, jistě záhy zjistili, v čem spočívá její záludnost. Vylévání mouchy jistě není žádné fyzikální terno, ale provést experiment, který by splňoval náročnější požadavky na přesnost a měl nějakou vypovídací hodnotu, nebylo zas až tak triviální (pokusy s větším množstvím vody, navíc v zimě, to nikdy nedělá dobrotu).

Experiment

Při provádění pokusu jsme se vydali cestou, která nám umožňovala vylévat vodu téměř konstantním průtokem. Naše aparatura se sestávala jednak z torza starého dětského kolečka, které mělo „nákladový prostor“ příhodně kvádřového tvaru o rozměrech cca $15 \times 30 \times 50$ cm, dále z provázku, jenž byl na jednom konci přivázaný ke hraně nádržky a druhým koncem se navíjel na kovovou tyčku zasazenou místo vrtáku ve vrtačce upevněné nad nádobkou – tedy jakýsi rumpálek. Vrtačka byla vybavena regulací otáček, mohli jsme tedy snadno měnit rychlost naklápění a tím množství vytékající vody. Místo uhynulého hmyzu jsme použili všem dobře známé malé polystyrénové kuličky – ty mají tu výhodu, že díky velmi malé hmotnosti takřka okamžitě reagují na pohyb okolní vody, naopak jejich nevýhodou je, že se pohnou při sebemenším závanu vzduchu nad hladinou. Tyto kuličky jsme rozptýlili po hladině, což nám umožnilo sledovat proudění vody na různých místech hladiny během jednoho měření. Vedle nádoby jsme položili metr, ze kterého jsme později odečítali polohu kuliček. Vše jsme natáčeli na digitální fotoaparát ve videorežimu. Díky tomu jsme mohli proměření udělat v klidu a pohodlí na velké obrazovce.

Pokud máte tu možnost, zaznamenávejte si podobné experimenty na video. Omezíte tím riziko vzniku hrubých chyb a navíc odpadá časový stres během měření. Pokud do zorného pole kamery umístíte třeba ještě stopky, často vám to velice usnadní zpracování vašeho měření a můžete tak podstatně zvýšit přesnost.

Kuličky, které se dostaly příliš blízko ke stěnám nádoby, se beznadějně přilepily, a proto jsme se jimi dále nezabývali. Berme je tedy jako zástupce okrajových jevů. Zajímavější byla situace blíže středu hladiny. Při naklápění nádoby se nejdřív nad hranou přelivu vytvořil meniskus (opět vliv povrchového napětí vody), po jehož prasknutí vyteklo relativně větší množství vody (to je ten skok z 0 cm na 1,3 cm v naměřených hodnotách). Poté se proudění ustálilo a my jsme mohli začít s odečítáním hodnot.

Výsledky

Uvádíme zde hodnoty x vzdálenost od počáteční polohy a t času pro kuličku pohybující se přibližně na podélné ose nádoby. Kuličky, které se nacházely blíže ke stěně nádoby, se pohybovaly jen nepatrně pomaleji (vlivem tření vody o stěny je zde proudění pomalejší). Jak se ukázalo, okamžitá rychlost pohybu závisela jen na okamžitě, nikoliv na počáteční poloze kuličky. Předpokládáme, že nádoba nijak výrazně neměnila naklopení, pokud jí otočíme o 45° , tak dojde k zásadnímu ovlivnění vlastností vodního tělesa a již nebude splněn náš předpoklad vylévání za přibližně stálých podmínek. Proto nám pro ilustraci zcela postačuje znát průběh pohybu jedné kuličky, která během své „plavby“ proplula přes celou hladinu. Kuličky, které se

nacházely před ní, se pohybovaly stejně, jenom se vytily dříve. Chybu vzdálenosti jsme odhadli na 3 mm, zhruba tolik se ještě dalo z monitoru odečíst, čas měl chybu zhruba 0,1 s. Naměřené hodnoty jsou v následující tabulce, ty jsme dále vynesli do grafu.

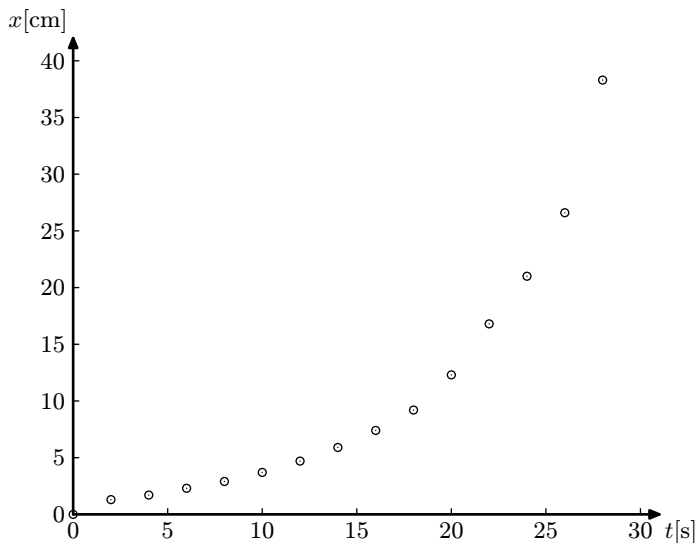
t [s]	0	2	4	6	8	10	12	14
x [cm]	0	1,3	1,7	2,3	2,9	3,7	4,7	5,9
v [cm·s ⁻¹]	–	0,65	0,20	0,30	0,30	0,40	0,50	0,60
t [s]	16	18	20	22	24	26	28	30
x [cm]	7,4	9,2	12,3	16,8	21,0	26,6	38,3	přepadla
v [cm·s ⁻¹]	0,75	0,90	1,55	2,25	2,10	2,80	5,85	–

Tabulka: naměřené hodnoty $x(t)$

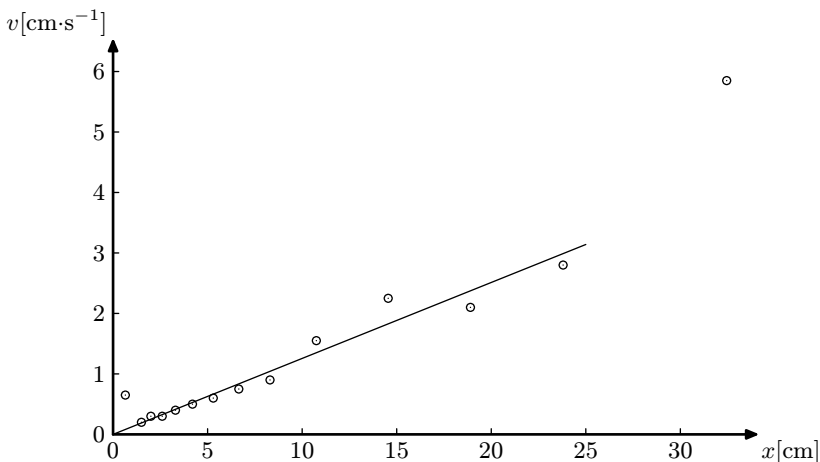
Zajímavější bylo pozorovat, jak se vyvíjí rychlost v závislosti na vzdálenosti od přelivu. Čím byla kulička blíže přelivu, tím rychleji se pohybovala. Rychlosti kuličky jsme počítali jako průměrnou rychlost na jednotlivých intervalech.

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}, \quad \text{tedy} \quad v_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{t_i - t_{i-1}}.$$

Tyto vypočtené hodnoty jsou uvedené v tabulce a vyneseny v grafu.



Obr. 1



Obr. 2

Z grafu vidíme, že zrychlení daleko od přelivu bylo přibližně konstantní, ale s tím, jak se kulička blížila více k přelivu, vzrůstalo. Blízko přelivu máme bohužel málo naměřených dat. Tvar funkce popisující průběh rychlosti je zřejmě závislý na momentální geometrii vodního tělesa v nádobě (pokud se budete snažit, vždy na vaše výsledky nějakou funkci napočítáte, je ovšem otázka, jaký to bude mít fyzikální význam). Jinak bude vypadat proudění vody v mělkém plechu na pečení a jinak ve vysokém hranolu, na náklonu nádoby záleží také. Jistě by bylo zajímavé rozebrat teoreticky pohyb celé vodní masy, nicméně to přesahuje rámec našeho experimentu.

Dále jsme se zabývali příčným průběhem velikosti rychlosti proudění (tedy jak závisí rychlost proudění na vzdálenosti od podélných stěn). Podle očekávání byla kulička blíže ke stěně o něco málo pomalejší. Vlivem tření o stěnu se proudění na okrajích zpomaluje, ale není to výrazný jev.

Závěr

Při tomto typu měření nemá cenu provádět žádné statistické zpracování měření, jde nám především o kvalitativní popis děje, narozdíl od měření například nějaké konstanty. Přesto je dobré rozmyslet si, jakých chyb jsme se při měření dopouštěli, jaký vliv na konečný výsledek tyto chyby mohly mít a jak by se případně daly eliminovat. Znovu zdůrazňuji, že vaše závěry by měly být podloženy alespoň nějakými naměřenými hodnotami, vhodné je nakreslit graf.

Poznámky k došlým řešením

V zadání úlohy nebylo blíže specifikováno, jakým způsobem se má voda vylévat, bylo tedy na vás, jakou cestou se vydáte. Nabízelo se například vylévání konstantním objemovým tokem nebo stálou rychlostí naklápět nádobu. Důležité však bylo zajistit, aby se způsob vylévání neměnil. Vzít nádobu rukou a tak nějak podle oka vodu vylévat nebylo to pravé ořečové. Mnoho z vás se nějakým bližším popisem vůbec nezabývalo, ač se jedná o dost podstatnou věc. Také mě překvapilo, kolik řešitelů bylo ochotno (nebo to o sobě alespoň tvrdilo) pracovat s mrtvými mouchami. Ačkoliv to bylo součástí zadání, za použití méně nechtutného pokusného objektu jsem body opravdu nestrhával. Vhodné bylo použít kousků gumy, korku, dřeva a podobně.

Při opakovaném měření bylo rovněž vhodné zajistit, aby váš předmět příliš nenasakoval vodu, čímž by se měnila jeho hmotnost.

Nemálo řešitelů používalo nádobičky doslova miniaturních rozměrů, což muselo značně znesnadňovat samotné experimentování a také sabotovat veškeré snahy o přesnost. Nikdo mi nenamluví, že udělal kvalitní měření s kelímkem o rozměrech $5 \times 5 \times 10$ cm. V tomto případě platilo čím větší, tím lepší. Ostatně jistě jste sami zjistili, že moucha má tendenci lepit se na stěny vlivem povrchového napětí, a čím menší nádobka byla, tím těžší bylo udržet mouchu volně plavat.

Řešitelé většinou popisovali pohyb buď jako víceméně rovnoměrný, nebo rovnoměrně zrychlený. Zde bych rád upozornil na možný zdroj chyb. Pohyb plovoucího tělesa se může na první pohled jevit jako rovnoměrný, ale po proměření zjistíte, že tomu tak není. Tím myslím především experimentátory, kteří pouze uvedli, že se moucha pohybovala rovnoměrně, aniž by své tvrzení podložili nějakými čísly.

Michal Bareš
fykos@mff.cuni.cz