

10. ročník, úloha V. E ... experimentování v dešti (8 bodů; průměr ?; řešilo 22 studentů)

Teď už nebude sněžit, a proto můžete pozorovat déšť. Pokuste se změřit objem jedné dešťové kapky. Nezapomeňte si zapsat, kdy to vlastně přšelo a jestli déšť přišel ze západu nebo z východu (porovnávejte kvalitu východních a západních dešťů). Např. při pádu padákem lze měřit šuplerou všechny rozměry kapky, ocejchujeme-li si dalekohled, můžeme v něm odhadovat velikost kapek.

Velikost dešťových kapek se dá měřit mnoha metodami, ale v zásadě se metody dají rozdělit na ty, kdy měříme velikost jedné (náhodně odchycené) kapky, a ty, kde nacytáme velké a zhruba známé množství kapek a zjistíme průměrný objem námi zachycené kapky.

Jako ukázkou jsme zvolili metodu z druhé skupiny. Měřili jsme objem vody V , která dopadla na plochu S_1 za dobu t_1 a současně počet kapek N , dopadnuvších na plochu S_2 za dobu t_2 . Je velice dobré si veličiny zvolit tak, aby $S_1 > S_2$ a $t_1 > t_2$. Průměrný objem kapky pak vypočteme ze vztahu

$$V_{\text{kapka}} = \frac{V t_2 S_2}{N t_1 S_1}.$$

Pokus č. 1

Pardubice, 11. 4. 1997, mezi 14:55 a 15:00 SELČ, SZ vítr, 5°C

Změřené hodnoty

$$t_1 = 113 \text{ s}, \quad S_1 = 3 \times 23,0 \text{ cm} \times 27,5 \text{ cm} = 1897,5 \text{ cm}^2, \quad V = 10,4 \text{ cm}^3, \\ t_2 = 17,5 \text{ s}, \quad S_2 = 13,4 \text{ cm} \times 9,2 \text{ cm} = 123,28 \text{ cm}^2, \quad N = 73.$$

Po dosazení do vzorce získám průměrný objem kapky $V_{\text{kapka}} = 1,43 \text{ mm}^3$.

Odhad chyby měření

$\Delta t_1 = 1 \text{ s}$ (1%), $\Delta S_1 = 5 \text{ cm}^2$ (0,2%), $\Delta t_2 = 0,2 \text{ s}$ (1%), $\Delta S_2 = 2 \text{ cm}^2$ (2%), $\Delta V = 0,1 \text{ cm}^3$ (10%), $\Delta N = \sqrt{N} = 8$ kapek (11%). Jako chybu veličiny N jsme zvolili \sqrt{N} , což je analogie z jaderné fyziky, kdy např. průlet jedné částice, či rozpad jednoho atomu je jevem náhodným, a až velké množství jednotlivých aktů umožní určit, jaká je intenzita záření nebo rychlost rozpadu izotopu.

Celková chyba (odmocnina ze součtu kvadrátů): 15%.

Objem kapky: $V_{\text{kapka}} = (1,43 \pm 0,22) \text{ mm}^3$.

Pokusy č. 2, č. 3

Metoda podobná jako v předchozím, ale položíme $t_1 = t_2$ (počítání kapek v reálném čase).

Pardubice, 8.5.1997, mezi 15:00 a 16:00 SELČ, bezvětří

Změřené hodnoty

$$S_1 = 3 \times 23,0 \text{ cm} \times 27,5 \text{ cm} = 1897,5 \text{ cm}^2, \quad V = 24,2 \text{ cm}^3, \\ S_2 = \pi (15 \text{ mm})^2 = 7,07 \text{ cm}^2, \quad N = 15.$$

Objem kapky: $V_{\text{kapka}} = (6,0 \pm 2,0) \text{ mm}^3$.

Změřené hodnoty

$$S_1 = 3 \times 23,0 \text{ cm} \times 27,5 \text{ cm} = 1\,897,5 \text{ cm}^2, \quad V = 13,3 \text{ cm}^3,$$

$$S_2 = \pi (54 \text{ mm})^2 = 91,6 \text{ cm}^2, \quad N = 85.$$

Objem kapky: $V_{\text{kapka}} = (7,6 \pm 1,0) \text{ mm}^3$.

Tím, že jsme počítali kapky současně s odběrem vzorku na objem, jsme jednak snížili počet vstupních veličin a také by to mělo odstranit případné změny intenzity deště během těch několika minut. Velká chyba v druhém pokusu je způsobena malým počtem kapek.

Závěr

Zjistili jsme, že typický rozměr dešťové kapky je několik jednotek mikrolitrů a že se může měnit až o řád mezi různými přeháňkami.

Podobně jako v klasické úloze s měřením výšky budovy, i zde lze vymyslet mnoho dalších metod.

- Někteří řešitelé se rozhodli změřit hmotnost několika konkrétních kapek na laboratorních vahách. Když se podařilo zabránit odparu kapek během vlastního vážení, dařilo se obvykle dosáhnout vysoké přesnosti. Snad jen vydělení nesprávnou hustotou (pro jinou teplotu) mohlo nepatrně snížit množství platných číslic ve výsledném objemu.
- Jiné originální měření objemu jednotlivých kapek bylo použito na Slovensku. Za předpokladu, že se do svého papíru vejde konstantní množství vody na jednotku plochy, lze změřit skvrnu po dopadu kapky, a posléze si papír okulibrovat známým množstvím vody.
- „Metoda šmouhy“. Rozměry kapky lze určit nepřímou na základě určení její pádové rychlosti. Za jízdy dopravním prostředkem s průhlednými okny měříme úhly dešťových kapek rozmáznutých po skle vůči horizontále. Tangens tohoto úhlu je poměr rychlosti pádu kapky a rychlosti dopravního prostředku. Pro rychlost kapky by bylo nejhodnější použít vzorec $F = \frac{1}{2} C S_{\text{kapka}} \rho_{\text{vzduch}} v_{\text{kapka}}^2$, plocha kapky je svázána s objemem přes poloměr, a to za předpokladu kulového tvaru kapky. Rychlost dopravního prostředku zjistíme pohledem na tachometr v případě auta, měřením časů mezi kilometrovíky v případě vlaku a dotazem u pilota v případě letadla. Zdroje chyb jsou následující: sklon vozovky, trati, či leteckého koridoru, vítr unášející kapky bokem a turbulence kolem kabiny.
- Velice piplavé je určování rozměrů šuplerou, přiloženou k již zachycené kapce. Není přesně určitelné, jaký má (bývalá) kapička geometrický tvar. Návrhy sahaly od tenké vrstvičky neměnné tloušťky, přes kulovou úseč, až po polokouli.
- Vyfotografování padající kapky společně se škálou naráží na problémy s vysokou pádovou rychlostí, která vyžaduje velmi krátký čas fotografování. Rovněž je dobré použít místo s velkou intenzitou světla a z toho plynoucí velkou hloubkou ostrosti.

Honza Mocek