

17. ročník, úloha V. E ... bobřík míření (7 bodů; průměr 5,00; řešilo 7 studentů)

Jaro začíná a je pravý čas začít sportovat. Mezi mnohé sportovní aktivity patří mimo jiné tenis. A my vám vycházíme vstříc! Vaším úkolem je zjistit, jakou rychlost musí mít tenisový míček, aby rozbil okno. Nezapomeňte provést dostatek měření, abyste mohli vaše zjištěná data statisticky zpracovat.

Jarda Trnka vyčetl ze sbírky P. Kapicy.

Motivace úlohy

Mnohým se jistě zdálo zadání úlohy přinejmenším podivné. Nešlo však o náhodný rozmar praštěných organizátorů. Úloha pochází z vážené sbírky příkladů nositele Nobelovy ceny za fyziku Petra Leonidoviče Kapicy *Fyzikální ježadači*. Tolik jen pro ty, co snad pochybují o vysoké kvalitě FYKOSích úloh.

Pravdou je, že s měřením jsou spojeny buď určité investice (pokud si okno zakoupíte), nebo nějaké ty nepříjemnosti (pokud rozbijíte stále ještě sloužící okno). To však experimentátora nesmí odradit. Výzkum je na prvním místě!

Metoda měření a teorie

Na webových stránkách <http://star.tau.ac.il/QUIZ/> si zájemci mohou nalézt teoretické předpovědi rychlosti. Hledejte tam úlohu *Breaking windows* z roku 1997. Výpočet není jednoduchý, proto ho zde nebudeme uvádět.

Jak vlastně při tomto nestandardním měření postupovat? Tak hlavně musíme nějakým způsobem určit rychlost dopadajícího míčku. To není vůbec tak jednoduché, jak se na první pohled zdá. Pokud bychom na okno míček házeli z nějaké vzdálenosti, tak budeme mít velké problémy s měřením doby letu (z té pak určíme rychlost míčku). Jediný rozumný způsob jak zaručit dostatečně dlouhý let míčku je vrh svislý vzhůru. Vyhodíme tedy míček do vzduchu, budeme měřit čas a budeme doufat, že spadne na přichystané okno. (Nebo můžeme míčkem házet postupně z prvního až n -tého patra vícepodlažního domu na okno na chodníku). Většinou nám sice míček spadne mimo skleněnou plochu, ale pokud se trefíme, budeme mít měření vcelku přesné.

Metoda měření bude tedy následující. Vyhodíme míček do vzduchu a budeme měřit čas t , za který spadne na přichystané okno. Pro rychlost v bude platit

$$v = \frac{gt}{2}.$$

Nezbývá tedy, než se pustit do měření.

Výsledky měření

Měření samotné bylo poznamenáno menším rozměrem skleněné plochy, tudíž velká část vrhů končila úplně mimo danou oblast. No, nakonec přece jenom pár pokusů skončilo tam, kde mělo, a i k rozbití okna došlo. Všechny pokusy, které skončily pádem míčku na skleněnou desku, jsou zaznamenány v tabulce.

čas t [s]	rychlost v [m·s ⁻¹]	rozbití
1,15	5,6	ne
1,87	9,2	ne
2,77	13,6	ne
2,91	14,3	ne
3,41	16,7	ne
3,67	18,0	ano

Výsledek nelze jednoznačně stanovit. Bude to zřejmě někde mezi hodnotami $16,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $18,0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Chybu měření času odhaduji na $0,2 \text{ s}$, což dává relativní chybu asi 5%. Ostatní chyby lze těžko stanovit (jako třeba nekolmý dopad míčku na okno). Proto celkovou chybu odhadneme. Výsledek pak můžeme napsat ve tvaru

$$v = (18 \pm 2) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

Na uvedené internetové adrese odhadují velikost rychlosti mezi 20 a 30 m/s . V zásadě je tedy výsledek tohoto experimentu ve shodě s teoretickou předpovědí. Samozřejmě tato hodnota není vůbec směrodatná pro všechna okna. Nějaké je tenčí, jiné tlustší, takže rozptyl výsledků může být dost velký.

Poznámky k došlým řešením

Řešení nepřišlo mnoho. Všichni, co se pokusili něco naměřit, si zaslouží pochvalu. *Slavo Takáč* bohužel nepřemluvil matku, aby obětovala okno ve prospěch vědy, *Tomáš Bednárik* neměl po ruce tenisák, tak musel házet na okno kameny, *Jendovi Valáškov* se zase nechtělo utrácet za nové okno, použil tedy místo něho balící papír. Ze dvou dalších řešitelů by měl pan *Kapica* také radost – z *Martina Konečného* a *Petra Dvořáka*, kteří nelitovali obětovat okna ve prospěch vědy.

Jarda Trnka

jarda@fykos.mff.cuni.cz