

**18. ročník, úloha I. E ... a přece se točí** (8 bodů; průměr 4,33; řešilo 46 studentů)

Již několik století víme, že se Země točí. Změřte tedy dobu, za kterou se Země otočí o  $360^\circ$  kolem své osy. Svě měření se pokuste provést co nejpřesněji. Můžete navrhnout a vypracovat několik různých metod a jejich výsledky porovnat. V každém případě proveďte dostatek měření, abyste je mohli statisticky zpracovat. Úlohu vymyslel kolektiv všech organizátorů.

**Teorie**

Jako způsob určení doby rotace se nabízí měřit dobu mezi po sobě následujícími západy Slunce nebo pomocí stínu. Oba tyto způsoby mají jednu vadu – Země kromě pohybu kolem vlastní osy ještě obíhá kolem Slunce. Když sluneční paprsky dopadají na zemský povrch znovu pod tímž úhlem, Země se mezitím stihla pootočit kolem Slunce o  $360^\circ/365,25$  (asi  $1^\circ$ ), a tak v tu dobu Země neorotovala o celých  $360^\circ$ , ale jen o přibližně  $359^\circ$ . Je třeba provést příslušnou korekci. Ani takhle to však není úplně v pořádku, neboť trajektorie, po které obíhá Země okolo Slunce, není kružnice, nýbrž elipsa a rychlost pohybu Země je v různých místech trajektorie různá (2. Keplerův zákon)<sup>1</sup>.

Vhodnější metodou je určovat dobu rotace z polohy hvězd. Pohyb hvězd a pohyb středu Země vzhledem ke vzdáleným hvězdám můžeme v tomto případě skutečně zanedbat. Pokud máme přístup ke hvězdářskému dalekohledu, můžeme jej pro toto měření využít. (Co jiného než hvězdářský dalekohled vydrží nehnuté stát po celých 23 h 56 min anebo pomocí čeho jiného lze na stupnici odečítat rektascenzi?)

Dále můžeme využít metodu Foucaultova kyvadla. Tato metoda je však náročná na praktické provedení a nepřesnosti. Další možností je změřit tíhové zrychlení, které, jak známo, závisí na rychlosti rotace Země. Chyba takového měření by však byla srovnatelná s měřenou hodnotou.

**Výsledky měření**

Jelikož jsem neměla k měření dostatek hvězdných nocí, rozhodla jsem se použít naměřené hodnoty některého z řešitelů. Kdyby toto řešení mělo být zcela autorské, nemohlo by být v žádném případě vzorové, protože výsledky *Stanislava Vosolobě* nebo *Tomáše Bednárika* by byly očividně lepší než ty moje. Vybrala jsem ke zveřejnění Stanislavovo řešení. Ten měřil v šesti dnech čas, kdy se hvězda Capella promítla do určitého bodu.

den	1. měření		2. měření	
	$t_1$ [h:min:s]	$\Delta t_1$ [min:s]	$t_2$ [h:min:s]	$\Delta t_2$ [min:s]
1	20:36:35	–	20:40:15	–
2	20:24:47	3:56	20:28:25	3:57
3	20:20:50	3:57	20:29:05	4:20
4	20:12:50	4:00	20:16:00	4:03
5	20:05:20	3:45	20:07:50	4:05
6	20:01:37	3:34	20:03:58	3:52

Vypočítáme průměrnou hodnotu  $\Delta t$  a směrodatnou odchylku  $s_{\Delta t}$ , k hrubé chybě nedošlo.

$$\Delta t = 4 \text{ min } 2,9 \text{ s}, \quad s_{\Delta t} = 6,7 \text{ s}.$$

<sup>1)</sup> Je užitečné nakreslit si obrázek. Pojmy jako hvězdný a sluneční den jsou objasněny např. v gymnaziální učebnici fyziky – díl astrofyzika.

Jako celkovou chybu vezmeme trojnásobek směrodatné odchylky, chyba měření je vůči ní zanedbatelná

$$\Delta t = (4,0 \pm 0,3) \text{ min.}$$

Pro dobu rotace Země dostáváme

$$T = 24 \text{ h} - \Delta t = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 0 \text{ s} \pm 20 \text{ s},$$

v rámci chyby se shodujeme s tabulkovou hodnotou 23 h 56 min 4 s.

### *Poznámky k došlým řešením*

Musím hned zdůraznit, že tato úloha byla experimentální. Sešla se nám totiž spousta řešení, která byla sice správně, avšak něco jim chybělo. Tím něčím nebylo nic jiného než naměřené hodnoty, jejich zpracování a zhodnocení jejich přesnosti resp. nepřesnosti, plus případný detailnější popis provedení experimentu. Při bodování se cenilo i navržení dalších alternativních metod.

Velká část z vás měřila dobu rotace pomocí Slunce. Mnoho těch, kteří měřili touto metodou, obdrželo takřka tabulkový výsledek 23 h 56 min, ačkoliv většina z nich zapoměla spáchat již výše zmíněnou korekci. Na první pohled to je překvapivé, ale mám takový pocit, že když člověk tuší, co by měl správně naměřit, více či méně podvědomě odečítá hodnoty tak, aby se výsledkem stala právě ona očekávaná hodnota.

Druhá zhruba polovina řešitelů určovala dobu rotace z polohy hvězd. Zde bych ráda vy zdvihla úsilí *Jakuba Bendy*, který si pro účely experimentu sestrojil vlastní astroláb.

Rotaci Země pomocí Foucaultova kyvadla či tíhového zrychlení nikdo neměřil. Vzhledem k náročnosti obou metod se tomu ani nedivím.

*Jana Ringelová*  
jana@fykos.mff.cuni.cz