

Měření sluneční konstanty

Přítomnost slunce na denní obloze je pro nás zcela samozřejmá záležitost. Už méně lidí si uvědomuje, že Slunce je tím nejpodstatnějším zdrojem energie pro Zemi. Svými mocnými paprsky řídí většinu procesů na Zemi podobně, jako herci loutkového divadla vedou na provázcích své loutky. Když bychom chtěli sestavit roční rozpočet takového pomyslného vesmírného divadla, jistě by nás zajímalo, kolik energie Slunce Zemi dodá. A to právě určuje sluneční konstanta – je to množství energie, které projde jednotkovou plochou za jednotku času ve vzdálenosti 1 AU od Slunce.

Slunce zásobuje Zemi energií poměrně štedře a tak není potřeba k měření sluneční konstanty žádné sofistikované techniky – v principu k němu stačí kousek plíšku (pokud možno začerněného), teploměr a izolace, která omezí ztráty energie. Plíšek vystavíme kolmo k slunečním paprskům za beozoblačeného počasí a měříme nárůst teploty v čase. Množství zářivé energie, které náš primitivní bolometr dostane za určitý čas vyjádříme jako:

$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{C \Delta T}{S \Delta t},$$

kde C je tepelná kapacita bolometru, T je jeho teplota, S jeho plocha a t je čas.

Vypočtená energie bude po přepočtení k jednotkové ploše bolometru, za jednotkový čas a po započítání atmosférické extinkce odpovídat sluneční konstantě, ovšem nejdříve se musíme vypořádat s několika překážkami. Především nebudeme mít pravděpodobně k dispozici ideální izolaci. Když tedy budeme bolometr zahřívat, bude nutně ztrácet energii ve prospěch okolí. Tohle ochlazování je možné dobře popsat nebo můžeme uvažovat jen tu část závislosti $T(t)$, kdy jsou ztráty minimální (a nárůst teploty je přibližně lineární funkcí času).

Další problém je určení tepelné kapacity bolometru. Zatím jsme si vyzkoušeli dva způsoby – přibližný vypočet a měření pomocí kalorimetru. Další možností je využití rovnice (1) se zdrojem, který má dobře známý výkon – příkladem může být žárovka. Pro tepelnou kapacitu bolometru pak platí:

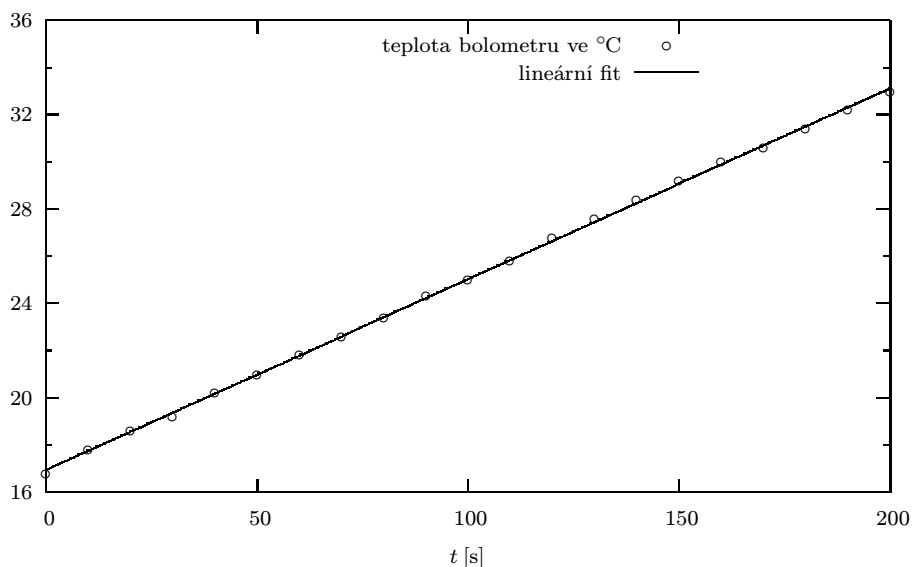
$$C = \frac{UI \Delta t}{\Delta T},$$

kde U , resp. I je napětí a proud v obvodu se žárovkou, T je měřená teplota a t je čas. Měření opět komplikují tepelné ztráty, a tak je nutné změřit kapacitu celého systému včetně izolace a pak zvlášť kapacitu izolace. Výslednou kapacitu bolometru dostaneme jako rozdíl těchto dvou hodnot.

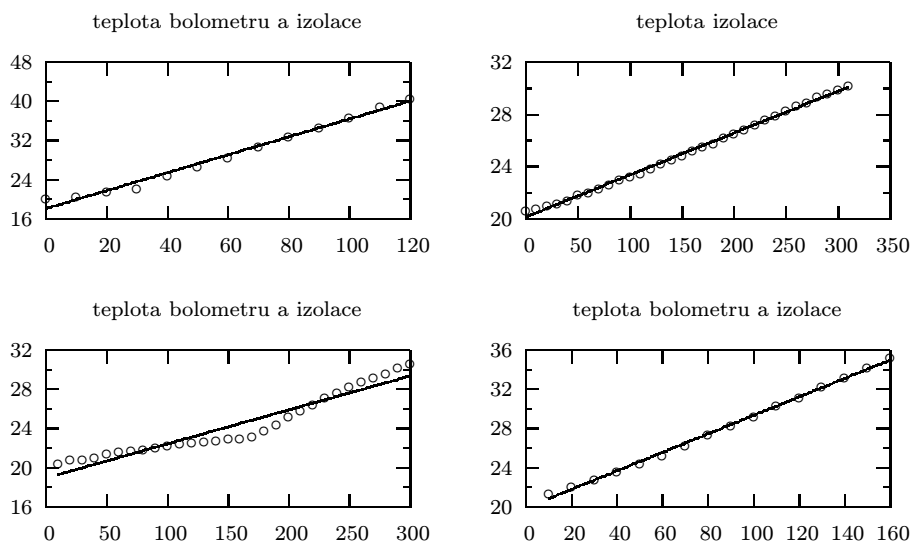
Výsledky

Sluneční konstantu jsem měřil 2. 5. 2007 od 14.14 SELČ na MonteBoo. Bylo jasno, na obloze byly patrné jen kondenzační stopy od letadel a sem tam

řídké cirry. Časovou závislost teploty bolometru na Slunci zobrazuje graf na obrázku (1). Směrnice fitované přímky vyšla $0,0809 \pm 0,0004 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$.



OBRÁZEK 1 Časová závislost teploty bolometru vystaveného Slunci.



OBRÁZEK 2 Časová závislost teploty bolometru a izolace při určování jejich tepelné kapacity. Na vodorovné ose čas v s, na svislé teplota ve $^\circ\text{C}$. V grafech jsou vždy zobrazeny také lineární fity dat.

Měření tepelné kapacity bolometru se opět ukázalo jako značně problematické. Všechny pokusy shrnují grafy na obrázku (2). Hodnoty směrnic proložených přímk a další údaje z měření jsou v tabulce (1). I když bylo toto

měření opakováno v několika konfiguracích, nedošli jsme k uspokojivým výsledkům. Tepelná kapacita samotné izolace vychází vždy větší než kapacita izolace a bolometru dohromady, což dává zápornou hodnotu pro samotný bolometr.

číslo grafu $^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$	směrnice přímký $^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$	její chyba	proud mA	napětí V	tepelná kapacita $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
1	0,183	0,006	129	30	21,1
2	0,0321	0,0003	87,8	15,2	41,6
3	0,035	0,002	87,8	15,2	38,1
4	0,094	0,002	87,8	15,2	14,2

TABULKA 1 Směrnice přímek proložených grafy na obr. (2). Ty jsou číslovány zprava doleva a shora dolů. Proudý a napětí při jednotlivých měřeních.

Nakonec jsem se tedy rozhodl použít hodnotu tepelné kapacity z měření před dvěma lety, kdy jsme pro stejný bolometr naměřili klasickou kalorimetrickou metodou hodnotu $C = (12 \pm 2) \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$. S touto hodnotou a s rozměry destičky bolometru $(29,4 \pm 0,2) \text{mm}$ a $(22,3 \pm 0,3) \text{mm}$ jsem došel k hodnotě sluneční konstanty $(1480 \pm 250) \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Tato hodnota je vyšší než běžně udávaná průměrná hodnota sluneční konstanty $1368 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$, která je dále snížena aktuální vzdáleností Země–Slunce $(1,0078 \text{AU})$ na hodnotu $1347 \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$. Dalším vlivem, který sníží hodnotu sluneční konstanty měřenou na dně vzdušného oceánu je atmosférická extinkce. I když bylo Slunce více než 50° nad obzorem, měli bychom změřit hodnotu výrazně nižší. Největší chybu přitom do výpočtu zanáší právě problematické určení tepelné kapacity bolometru.