

Měření sluneční konstanty

Sluneční konstanta je celkový tok energie ze Slunce (ve všech oborech elmag. záření) přepočtený na jeden metr čtvereční ve vzdálenosti jedné astronomické jednotky od Slunce (a to před průchodem elmag. záření atmosférou). Měření sluneční konstanty se provádí pomocí radiometru, tedy začerněného plíšku (v našem případě měděného), na který je připevněn teploměr. Celá soustava je navíc izolována od okolí polystyrenovým pouzdem, aby se omezily tepelné ztráty. Radiometr vystavíme pokud možno kolmo k slunečním paprskům a měříme závislost jeho teploty na čase. Měření končí, když se teplota mění jen minimálně nebo pokud je dosažena maximální teplota měřitelná teploměrem. energii pohlcenou radiometrem určíme ze vztahu

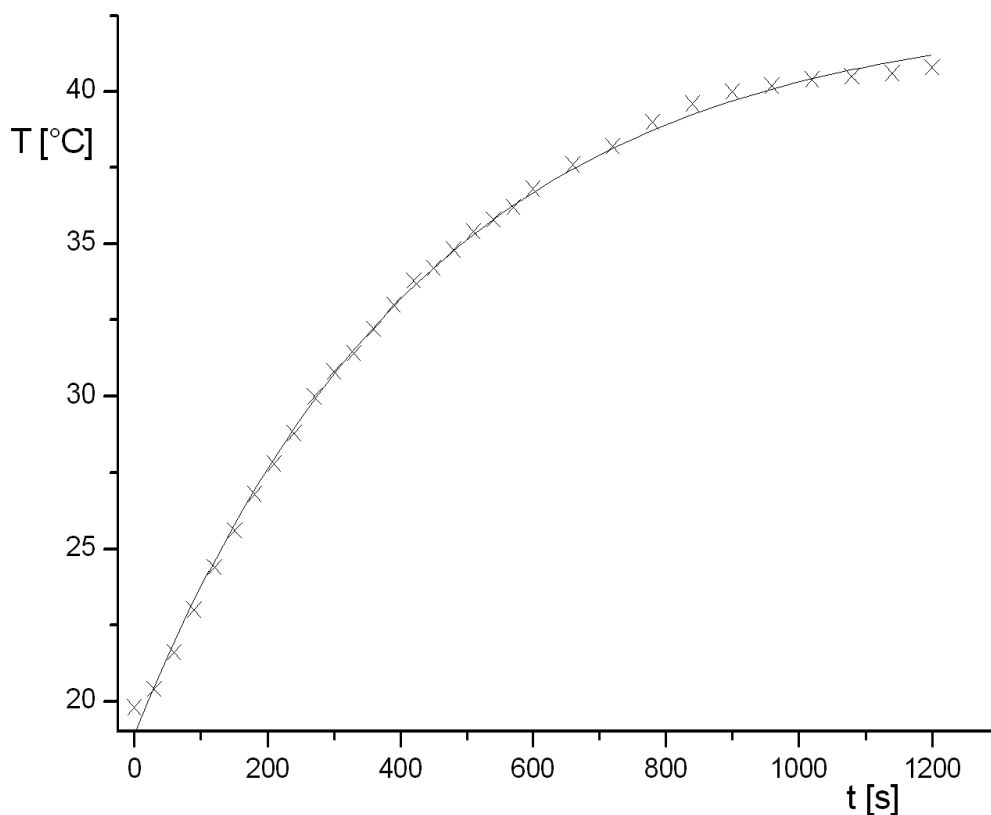
$$\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{mc \Delta T}{\Delta t}$$

kde mc je tepelná kapacita radiometru, ΔE je absorbovaná energie, Δt je časový interval a ΔT je změna teploty. Tepelnou kapacitu změříme jednak kalorimetricky a jednak vypočteme ze známého objemu a tedy hmotnosti radiometru.

Nejdříve tedy uvedu časový průběh teploty radiometru (*tabulka 1, graf 1*), pak záznam měření tepelné kapacity radiometru, spočtené změny teploty za dané časové intervaly a výpočet samotné sluneční konstanty (*tabulka 4*).

$\frac{t}{s}$	$\frac{T}{^{\circ}C}$
0	19,8
30	20,4
60	21,6
90	23,0
120	24,4
150	25,6
180	26,8
210	27,8
240	28,8
270	30,0
300	30,8
330	31,4
360	32,2
390	33,0
420	33,8
450	34,2
480	34,8
510	35,4
540	35,8
570	36,2
600	36,8
660	37,6
720	38,2
780	39,0
840	39,6
900	40,0
960	40,2
1020	40,4
1080	40,5
1140	40,6
1200	40,8

Tabulka 1



Graf 2

Vážený průměr

se spočte jako $\frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$, kde $w_i = \frac{1}{s_i^2}$.

Tepelná kapacita

1. Výpočet objemu, hmotnosti a tepelné kapacity radiometru

$\frac{a}{mm}$	$\frac{b}{mm}$	$\frac{c}{mm}$	$\frac{z}{mm}$	$\frac{\xi}{mm}$
30	23	2	8	2
29	22	2	8	2
29	22	1,7	8	1,5
29	21	1,8	8	1,8
29,2	22,3	1	7,5	1,9
29,3	22,7	2	7,1	1,6
29,6	22,4	2	8	2
30	23	1	7	1,5
		1,5	8	2
		2	8	2
		1,9		2
		1,3		1,5
		1,8		1,9
		1,7		1,6
		2		2
		1,9		2
				1,2

Tabulka 2: Geometrické rozměry radiometru

$$a = (29,4 \pm 0,2) mm$$

$$b = (22,3 \pm 0,3) mm$$

$$c = (1,7 \pm 0,1) mm$$

$$z = (7,8 \pm 0,2) mm$$

$$\xi = (1,8 \pm 0,1) mm$$

$$V_1 = abc = (1115 \pm 68) mm^3$$

$$\delta_{V_1} = 0,061$$

$$V_2 = (z - c) \cdot \xi = (11,0 \pm 0,8) mm^3$$

$$\delta_{V_2} = \sqrt{\frac{s_z^2}{(z-c)^2} + \frac{s_c^2}{(z-c)^2}} + \delta_{\xi} = 0,067$$

$$V = V_1 + V_2 = (1126 \pm 68) mm^3$$

$$S = ab = (656 \pm 10) mm^2$$

$$\delta_S = 0,015$$

Nyní když známe objem radiometru, můžeme spočítat jeho hmotnost a následně jeho tepelnou kapacitu.

$$mc = \rho_{Cu} V c_{Cu}$$

$$\rho_{Cu} = 8930 \text{ kg m}^{-3}, \quad c_{Cu} = 0,383 \text{ kJ kg K}^{-1}$$

$$mc = (3,85 \pm 0,24) \text{ JK}^{-1}$$

2. Kalorimetrické určení tepelné kapacity

Tepelnou kapacitu můžeme určit také ze známého množství energie dodaného radiometru. Princip i rovnice je tedy stejná jako při určování sluneční konstanty. Jako médium předávající energii ve formě tepla se obvykle používá voda. Budeme tedy měřit teplotu na začátku a na konci experimentu a z následující rovnice vypočteme tepelnou kapacitu radiometru mc .

$$mc = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{m_{H_2O} c_{H_2O} \Delta t_{H_2O}}{\Delta t} = \frac{m_{H_2O} c_{H_2O} \Delta t_{H_2O}}{\Delta t_0 + \delta}$$

$\frac{t_1}{\text{°C}} \left(\frac{t_1 + \delta}{\text{°C}} \right)$	$\frac{\delta}{\text{°C}}$	$\frac{t_{\text{oprava}}}{\text{°C}}$	$\frac{t_{\text{voda1}}}{\text{°C}}$	$\frac{t_2}{\text{°C}}$	$\frac{t_{\text{oprava}}}{\text{°C}}$	$\frac{t_{\text{voda2}}}{\text{°C}}$	$\frac{\Delta t_{\text{oprava}}}{\text{°C}}$	$\frac{\Delta t_{\text{voda}}}{\text{°C}}$	$\frac{mc}{\text{J K}^{-1}}$
20,5 (22)	1,5	22,2	41	36,4	38,1	39	15,9	2	10,52
19,0 (21)	2,0	20,7	44	40,2	41,9	42	21,2	2	7,89
19,6 (21)	1,4	21,2	44	38,5	40,2	40	19,0	4	17,60
19,6 (20)	0,4	21,2	41	37,6	39,3	39	18,1	2	9,24
20,0 (23)	3,0	21,7	46	39,3	41,0	43	19,3	3	12,99

Tabulka 3

$$\delta = (1,7 \pm 0,5) \text{ °C}$$

$$mc = (12 \pm 2) \text{ JK}^{-1}$$

V tabulce jsou uvedeny následující hodnoty:

t_1	teplota radiometru na začátku experimentu (v závorce teplota změřená digitálním multimetrem)
t_2	teplota radiometru na konci experimentu
$t_{1\text{oprava}}, t_{2\text{oprava}}$	hodnoty opravené o rozdíl teplot na dvou různých teploměrech
$t_{\text{voda}1}, t_{\text{voda}2}$	teplota vody na začátku a konci experimentu
Δt_i	změny teploty
mc	tepelná kapacita radiometru

Použité hodnoty a výpočty chyb

$$c_{Cu} = 4,180 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}, m_{H_2O} = (20 \pm 1) \text{ g}, s_{\Delta T_{H_2O}} = 0,5 \text{ }^\circ\text{C}, s_{\Delta T} = 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$s_{\Delta T} = \sqrt{s_\delta^2 + s_{\Delta T}^2}, \delta_{mc} = \sqrt{\delta_{m_{H_2O}}^2 + \delta_{T_{H_2O}}^2 + \delta_{\Delta T}^2}$$

Sluneční konstanta

t s	T °C	ΔT °C	S_0 $W m^{-2}$	s_{S_0} $W m^{-2}$
0	19,8			
30	20,4	0,6	355	85
60	21,6	1,2	710	135
90	23,0	1,4	829	153
120	24,4	1,4	829	153
150	25,6	1,2	710	135
180	26,8	1,2	710	135
210	27,8	1,0	592	117
240	28,8	1,0	592	117
270	30,0	1,2	710	135
300	30,8	0,8	474	100
330	31,4	0,6	355	85
360	32,2	0,8	474	100
390	33,0	0,8	474	100

Tabulka 4a

420	33,8	0,8	474	100
450	34,2	0,4	237	72
480	34,8	0,6	355	85
510	35,4	0,6	355	85
540	35,8	0,4	237	72
570	36,2	0,4	237	72
600	36,8	0,6	355	85
660	37,6	0,8	474	100
720	38,2	0,6	355	85
780	39,0	0,8	474	100
840	39,6	0,6	355	85
900	40,0	0,4	237	72
960	40,2	0,2	118	63
1020	40,4	0,2	118	63
1080	40,5	0,1	59	60
1140	40,6	0,1	59	60
1200	40,8	0,2	118	63

Tabulka 4b

výsledek aritmetického průměru: $S_0 = (414 \pm 41) W m^{-2}$ $\delta_{S_0} = 0,099$

výsledek váženého průměru: $S_0 = (303 \pm 46) W m^{-2}$ $\delta_{S_0} = 0,151$

Závěr:

Tepelná kapacita kalorimetru určená kalorimetricky a měřením rozměrů a následným výpočtem se poměrně výrazně liší. V prvním případě byly zanedbány ztráty tepla, během měření (a nebyly ani dostatečně sníženy), což zmenšuje výslednou hodnotu tepelné kapacity, ve druhém případě zase byly zanedbány příměsi plíšku radiometru (plíšek nebyl z čisté mědi, na jeho povrchu bylo jisté množství pájky a teplovodivé pasty, navíc tepelná kapacita teploměru, který je součástí radiometru, také není zanedbatelná) – tyto vlivy naopak zvyšují výslednou tepelnou kapacitu radiometru, takže se obě hodnoty přibližují. Pro přesnější měření sluneční konstanty by bylo nutné provést přesnější (zřejmě kalorimetrické) měření tepelné kapacity radiometru.

Normální hodnota sluneční konstanty je během slunečního minima (nastane v příštím roce) $1365 W m^{-2}$. Vzdálenost Země od Slunce byla v okamžik měření $1,0114 \text{ AU}$ a odtud plynoucí hodnota sl. konstanty $1334 W m^{-2}$. Nejzásadnější je však fakt, že bylo Slunce $11,5^\circ$ nad obzorem. Navíc byla v té době obloha pokrytá cirrovitou oblačností. Menší vliv na chybu určení sluneční konstanty měly chyba v určení kapacity radiometru a chyba určení jeho plochy. Přesnější by bylo popsat zahřívání radiometru diferenciální rovnicí a touto metodou vypočítat sluneční konstantu, ale k tomu by bylo nutné znát také průběh ochlazování radiometru. Toto měření však nebylo provedeno.