

Jednostavan model određivanja temperature planeta Sunčevog sustava

Milivoj Uroić¹

Koliko je hladno na Marsu? Koliko je vruće na Merкуру? Opće je poznato da su površine planeta sve hladnije, kako se udaljavamo od Sunca (uz iznimku Venere, ali o tome kasnije). To nam daje za pravo postaviti jednostavan, pa makar i vrlo grub model određivanja temperature izjednačavanjem dotoka energije sa Sunca i gubitka energije zračenjem površine planeta. Pretpostavke modela koji je dovoljno jednostavan da ga riješimo srednjoškolskim metodama su:

- planet je crno tijelo (bez direktne refleksije, albeda)
- planet kruži oko Sunca na stalnoj udaljenosti
- rotacijom planeta oko osi toplina se ravnomjerno raspoređuje po površini
- tok Sunčevog zračenja iznosi $\frac{P}{S} = 1350 \text{ W/m}^2$ na udaljenosti Sunce-Zemlja (solarna konstanta [1])

Svojstva crnog tijela koja trebamo su:

- crno tijelo apsorbira sve upadno zračenje (nema albedo)
- površina crnog tijela temperature T zrači snagom određenom izrazom $P = \sigma ST^4$, gdje je S površina tijela, a $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ Stefanova konstanta [2].

Zemlja

Kao najlakši primjer, krenimo od Zemlje. Srednja udaljenost od Sunca je, po definiciji, 1 a.j. (astronomska jedinica, [3]), a tok zračenja jednak Solarnoj konstanti, $\frac{P}{S} = 1350 \text{ W/m}^2$. Uvrstimo li to u izraz zračenja crnog tijela, dobivamo

$$T^4 = \frac{P}{\sigma S},$$
$$T = \sqrt[4]{\frac{1350}{5.67 \cdot 10^{-8}}} = 392.8 \text{ K} \approx +120 \text{ }^\circ\text{C}.$$

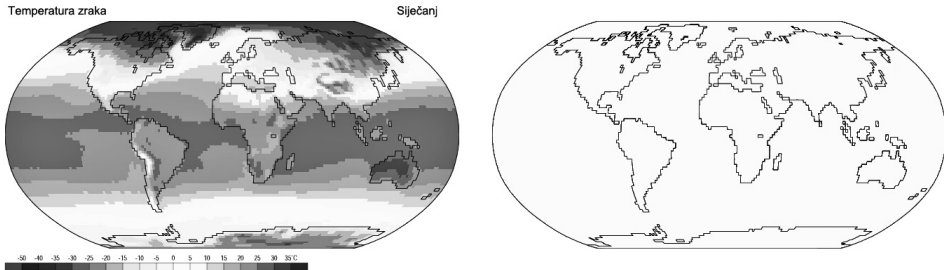
To nije baš realna temperatura površine Zemlje, iako dobro odgovara temperaturi na dnevnoj strani Mjeseca (ista udaljenost od Sunca!). Razlog je taj što je račun napravljen za površinu stalno izloženu okomitim Sunčevim zrakama, što se ne događa čak ni na Zemljinom ekvatoru (Zemlja rotira znatno brže od Mjeseca). No ako uzmemo da sunčeva svjetlost koja pada na Zemlju odgovara površini *presjeka*, dakle $R^2\pi$, a zračenje

¹ Znanstveni suradnik na Institutu "Ruđer Bošković".

odlazi s *oplošja kugle*, tj. $4R^2\pi$, račun daje

$$4R^2T^4 = \frac{P}{\sigma S} \cdot R^2\pi,$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{1350}{4 \cdot 5.67 \cdot 10^{-8}}} = 277.7 \text{ K} = 4.6^\circ \text{C}.$$



Slika 1. Ovisnost srednje siječanjske temperature na Zemlji o položaju. Naša aproksimacija je desno...

Ovo je već znatno realnija brojka imajući u vidu (prilično grube) idealizacije:

- Jednaka temperatura na cijeloj površini (zanemaruje dan-noć, polarne krajeve, klimu...).
- Zanemarivanje smanjenja temperature direktnom refleksijom (albedo).
- Zanemarivanje povećanja temperature efektom staklenika.

Kako vidimo, za tako grub model, brojka dobro opisuje srednju temperaturu ($\sim 14^\circ \text{C}$), uglavnom zato što korekcije modela i povećavaju i smanjuju temperaturu. Što dobijemo za ostale planete?

Planeti

Iz udaljenosti od Sunca, koristeći isti model i činjenicu da intenzitet (solarna konstanta) pada s kvadratom udaljenosti, dobivamo slijedeću tablicu:

planet	udaljenost (a.j.)	intenzitet (W/m^2)	T/K	T/ $^\circ \text{C}$
Merkur	0.387	9014	446.5	+173
Venera	0.723	2583	326.7	+54
Zemlja	1.000	1350	277.7	+4.6
Mars	1.524	581	225.0	-48
Jupiter	5.203	49.9	121.8	-151
Saturn	9.529	14.9	90.0	-183
Uran	19.19	3.67	63.4	-210
Neptun	30.06	1.49	50.6	-223

Uz malo poznavanja “lokalnih prilika” na pojedinim planetima (i njihovim satelitima) lako se vide dominantni nedostaci modela. Oni su redom:

- Merkur: prespora rotacija oko osi, promjenjiva udaljenost od Sunca.
- Venera: vrlo izražen efekt staklenika, temperatura odgovara troposferi, ne površini.
- Zemlja: uglavnom točno uz prethodno navedene idealizacije.
- Mars: isto kao i Zemlja.
- Vanjski planeti: plinoviti divovi nemaju površinu, imaju unutarnji izvor topline, dobivena vrijednost dobro opisuje temperaturu vanjskog sloja oblaka.
- Sateliti vanjskih planeta: uglavnom točno oko ekvatora, gubici zbog refleksije (albeda)

Iako znamo da je model pregrub, može poslužiti kao polazna točka, tj. vrijednost koju očekujemo samo na temelju udaljenosti od Sunca. To znači da uzimamo u obzir dominantni utjecaj, a zanemarujemo sve ostalo. Odstupanje od dobivene vrijednosti tada je indikator neke specifičnosti (rotacije ili atmosfere) promatrane planete ili satelita.

Literatura

[1] http://hr.wikipedia.org/wiki/Sunčeva_konstanta

[2] http://hr.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmannov_zakon

[3] http://hr.wikipedia.org/wiki/Astronomska_jedinica